	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>08-07-2021</b>	<b>B</b>
Dependencia	Aprobado		Pág.	
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>1(130)</b>	

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

<b>AUTORES</b>	Joan Arley Pacheco Jiménez y Juliana Bacca Llain		
<b>FACULTAD</b>	INGENIERIAS		
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	INGENIERIA CIVIL		
<b>DIRECTOR</b>	PH. D Nelson Afanador García		
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	Elaboración de un aplicativo para el diseño a flexión y cortante en vigas, con cinco tramos o menos, utilizando Excel soportado en Visual Basic.		
<b>TITULO EN INGLES</b>	Elaboration of an application for bending and shear design in beams, with five spans or less, using Excel supported by Visual Basic.		
<b>RESUMEN</b> (70 palabras)			
<p>El presente trabajo de grado, modalidad tesis. Presenta como objetivo principal realizar la elaboración de un aplicativo que desarrolle el diseño a flexión y cortante en vigas, con cinco tramos o menos, teniendo en cuenta los requerimientos establecidos en el Reglamento de Construcción Sismo Resistente Colombiano (NSR-10). Se desarrolló un diagrama de flujo que muestra los procedimientos lógicos realizados en el aplicativo y se estableció un manual de usuario que permite un correcto uso y una correcta interpretación de los resultados del aplicativo.</p>			
<b>RESUMEN EN INGLES</b>			
<p>This degree work, thesis modality. Its main objective is to carry out the elaboration of an application that develops the bending and shear design in beams, with five sections or less, taking into account the requirements established in the Colombian Earthquake Resistant Construction Regulation (NSR-10). flowchart that shows the logical procedures carried out in the application and a user manual was established that allows a correct use and a correct interpretation of the results of the application.</p>			
<b>PALABRAS CLAVES</b>	Diseño a flexión, Diseño a cortante, Resistencia ultima,		
<b>PALABRAS CLAVES EN INGLES</b>	Flexural Design, Shear Design, Ultimate Strength,		
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
PÁGINAS: 130	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 11	CD-ROM:1



Elaboración de un aplicativo para el diseño a flexión y cortante en vigas, con cinco tramos o menos, usando Excel soportado en visual Basic

Juliana Bacca Llain

Joan Arley Pacheco Jiménez

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Civil

PH. D Nelson Afanador García

03 de Marzo del 2022

## **Agradecimiento**

De manera primordial queremos agradecer le a Dios por habernos permitido llegar hasta esta instancia de nuestra vida, por colmarnos de bendiciones y por siempre darnos la gracia de contar con personas valiosas para nuestro desarrollo en la vida.

En igual sentido agradezco a todas las personas que nos aportaron su granito de arena para fundar nuestro presente y prepararnos para el futuro, en especial queremos agradecer al Doctor Nelson afanador García por su orientación, así mismo agradecerles a nuestros padres por cultivar en nosotros la disciplina y demás virtudes que nos permitieron enfrentar cada obstáculo de nuestro diario vivir y por último y no menos importante agradecerles a nuestro hermanos con quienes hemos contado y con los que siempre vamos a contar.

*Joan Arley Pacheco Jiménez*

*Juliana Bacca Llain*

## Índice

Capítulo 1. Elaboración de un aplicativo para el diseño a flexión y cortante en vigas, con cinco tramos o menos, usando Excel soportado en Visual Basic .....	9
1.1 Planteamiento del problema.....	9
1.2 Formulación del problema .....	10
1.3 Objetivos.....	10
1.3.1 Objetivo general. ....	10
1.3.2 Objetivos específicos.....	10
1.4 Justificación .....	11
1.5 Delimitaciones .....	12
1.5.1 Geográfica. ....	12
1.5.2 Temporal.....	12
1.5.3 Conceptual.....	13
1.5.4 Operativa. ....	13
Capítulo 2. Marco referencial .....	14
2.1 Marco Histórico .....	14
2.2 Marco Contextual.....	16
2.3 Marco Conceptual.....	17
2.3.1 Vigas.....	17
2.3.2 Diseño estructural.....	18
2.3.3 Cuantía .....	18
2.3.4 Acero .....	19
2.3.5 Concreto reforzado.....	19
2.3.6 Flexión.....	20
2.3.7 Cortante .....	20

2.3.8 Visual Basic.....	20
2.3.9 Excel.....	21
2.3.10 Factor de seguridad .....	21
2.4 Marco teórico .....	22
2.4.1 Método de la resistencia ultima.....	22
2.4.2 Resistencia a la fuerza cortante proporcionada por el concreto .....	24
2.5 Marco Legal .....	27
Capítulo 3. Diseño metodológico.....	28
3.1 Tipo de investigación .....	28
3.2 Población y muestra .....	28
3.2.1 Población.....	28
3.2.2 Muestra.....	29
Capítulo 4. Resultados .....	29
4.1 Identificación de los criterios normativos acerca de los diferentes conceptos influyentes en el tema del diseño de vigas a flexión y a cortante mediante la consulta de la Norma Sismo Resistente (NSR-10), para establecer el estado del arte del desarrollo del aplicativo. ....	29
4.1.1 Criterios normativos para el dimensionamiento de vigas. ....	29
4.1.2 Criterios normativos para el diseño a flexión de vigas. ....	35
4.1.3 Criterios normativos para el diseño a cortante en vigas.....	48
4.2 Establecer un algoritmo del procedimiento para la realización del diseño a flexión y cortante por el método de resistencia última, cumpliendo los requerimientos de la NSR-10, para la posterior digitación de código de programación. ....	54

4.3 Calibración del aplicativo a través de la revisión y comparación de los procesos y resultados del mismo, con los presentados en los libros Estructuras de concreto I séptima edición de Jorge Ignacio Segura Franco. ....	55
4.3.1 Calibración de diseño a flexión simplemente reforzado .....	55
4.3.2 Calibración de diseño a flexión doblemente reforzado .....	58
4.3.3 Calibración de diseño a cortante. ....	60
Conclusiones .....	67
Recomendaciones.....	69
Referencias.....	70

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Tabla C.9.5(a)-Alturas o espesores mínimos de vigas no pre esforzadas o losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen las deflexiones.....	31
<b>Figura 2.</b> Tabla CR.9.5-Alturas o espesores mínimos recomendados para vigas no preesforzados o losas reforzadas en una dirección que soporten muros divisorios y particiones frágiles susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes, a menos que se calculen las. ....	32
<b>Figura 3.</b> Cálculo de excentricidad. ....	34
<b>Figura 4.</b> Base máxima según C.21.5.1.4.....	35
<b>Figura 5.</b> Diagrama transversal de esfuerzos .....	37
<b>Figura 6.</b> Diagrama de esfuerzos limitada por a .....	41
<b>Figura 7.</b> Diagrama de esfuerzos para sección doblemente reforzada.....	46
<b>Figura 8.</b> Sección transversal de viga.....	56
<b>Figura 9.</b> Diagrama cortante y momento flector viga simplemente reforzada.....	57
<b>Figura 10.</b> Diagrama de cortante y momento flector viga doblemente reforzada.....	59
<b>Figura 11.</b> Diagrama de viga y cortante para diseño.....	61

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Resultados obtenidos mediante el libro y el aplicativo a flexión simplemente reforzado.....	57
<b>Tabla 2</b> Resultados obtenidos mediante el libro y el aplicativo a flexión doblemente reforzado.....	59
<b>Tabla 3.</b> Datos obtenidos de cortante .....	62
<b>Tabla 4.</b> Separaciones máximas para diámetro N° 2.....	62
<b>Tabla 5.</b> Separaciones máximas para diámetro N <sup>a</sup> 3 .....	62
<b>Tabla 6.</b> Separación máxima definitiva.....	63
<b>Tabla 7.</b> Separación máxima para zona de confinamiento diámetro N <sup>a</sup> 2 y N <sup>a</sup> 3.....	64
<b>Tabla 8.</b> Comparación de separaciones máxima por carga gravitacional y cortante máximo .....	65
<b>Tabla 9.</b> Separaciones definitivas para carga gravitacional y cortante máximo. ....	65



## Apéndices

- A. Apéndice A. Solución del problema 2.12 de la página 78 del libro Estructuras de Concreto I, en el aplicativo para el diseño a flexión y cortante en vigas, con cinco tramos o menos, usando Excel soportado en Visual Basic.
  
- B. Apéndice B. Solución del problema 2.16 de la página 90 del libro Estructuras de Concreto I, en el aplicativo para el diseño a flexión y cortante en vigas, con cinco tramos o menos, usando Excel soportado en Visual Basic.
  
- C. Apéndice C. Solución del problema 3.1 de la página 144 del libro Estructuras de Concreto I, en el aplicativo para el diseño a flexión y cortante en vigas, con cinco tramos o menos, usando Excel soportado en Visual Basic.
  
- D. Apéndice D. Manual de usuario del aplicativo para el diseño a flexión y cortante en vigas, con cinco tramos o menos, usando Excel soportado en Visual Basic.
  
- E. Apéndice E. Diagrama de flujo del aplicativo para el diseño a flexión y cortante en vigas, con cinco tramos o menos, usando Excel soportado en Visual Basic.

# **Capítulo 1. Elaboración de un aplicativo para el diseño a flexión y cortante en vigas, con cinco tramos o menos, usando Excel soportado en Visual Basic**

## **1.1 Planteamiento del problema**

Como se puede demostrar con un ensayo de laboratorio, para determinar las propiedades mecánicas del concreto, correspondientes a ensayos de tracción directa e indirecta y ensayos de compresión, el concreto es un elemento el cual se considera que resiste unas 10 veces más los esfuerzos de compresión que a tracción (Imaz, 2013).

Por lo anterior se ha implementado la combinación de los materiales que componen el concreto con otros elementos que poseen muy buenas capacidades para la resistencia de esfuerzo a tracción como lo es el acero, dando origen a lo que se conoce como concreto reforzado y generando así mismo la incertidumbre de conocer la cantidad óptima de acero o refuerzo según las solicitaciones del elemento estructural a construir.

Dicha incertidumbre ha sido solucionada con métodos de diseño como es el caso del método de resistencia última, para el diseño a flexión en vigas prismáticas, el cual tiende a ser un poco demorado para el diseño de cada una de las vigas de una edificación, generando así menor agilidad en los procesos.

De igual forma se encuentra el diseño por cortante o refuerzo transversal el cual requiere de mayor tiempo que el diseño longitudinal, a razón que este se realiza basado en el diagrama cortante de cada viga por separado lo que implica para el diseñador un trabajo largo y tedioso.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cómo es posible que el aplicativo en mención reduzca los tiempos a la hora de realizar diseños con resultados confiables?

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo general.***

Desarrollar un aplicativo para el diseño de vigas a flexión y cortante utilizando Excel soportado en visual Basic.

### ***1.3.2 Objetivos específicos.***

- Identificar todos los criterios normativos acerca de los diferentes conceptos influyentes en el tema del diseño de vigas a flexión y a cortante mediante la consulta de la Norma Sismo Resistente (NSR-10), para establecer el estado del arte del desarrollo del aplicativo.

- Establecer un algoritmo del procedimiento para la realización del diseño a flexión y cortante por el método de resistencia última, cumpliendo los requerimientos de la NSR-10, para la posterior digitación de código de programación.
- Efectuar la calibración del aplicativo a través de la revisión y comparación de los procesos y resultados del mismo, con los presentados en los libros Estructuras de concreto I séptima edición de Jorge Ignacio Segura Franco y Hormigón reforzado de Roberto Rochel Awad.
- Desarrollar un manual de usuario para el correcto uso e interpretación de resultados del aplicativo.

#### **1.4 Justificación**

El diseño estructural ha evolucionado a medida que pasa el tiempo, cada día se implementan nuevas metodologías y programas para el desarrollo de un diseño estructural, logrando así que este cumpla con las especificaciones establecidas en la norma sismo resistente colombiana (NSR-10), una de estas metodologías puede ser observada en el el libro de Estructuras de concreto I séptima edición de Jorge Ignacio Segura Franco, en la cual se establece el método de resistencia última para el diseño de vigas por momento y cortante teniendo en cuenta los requerimientos mínimos que establece la NSR-10 y así mismo la zona de amenaza sísmica del lugar en el cual se pretende realizar el diseño estructural del elemento.

Cada uno de estos procedimientos requiere de un análisis detallado el cual necesita de una gran cantidad de tiempo para el desarrollo del mismo, por lo que la realización de un programa para el diseño de vigas por momento y cortante por el método de resistencia última y teniendo en cuenta los requerimientos de la NSR-10, podrá agilizar los procesos del diseño estructural en vigas, generando de igual forma un gran aporte a las nuevas metodologías que se desempeñan actualmente.

Este programa permitirá disminuir el tiempo y aumentar la eficiencia en el desarrollo de un diseño estructural de vigas por momento y cortante, los cuales son factores claves en cualquier tipo de proyecto, ya que mediante estos dos factores se puede sacar el máximo provecho y rendimiento de los recursos, adicionalmente facilitara la ejecución de actividades en el ámbito laboral.

## **1.5 Delimitaciones**

### ***1.5.1 Geográfica.***

Nuestro proyecto se realizará en Ocaña norte de Santander, pero los resultados serán influyentes para los diseñadores estructurales que se rijan con la norma sismo resistente.

### ***1.5.2 Temporal.***

El trabajo de programación se realizará aproximadamente en 4 meses a partir del anteproyecto.

### ***1.5.3 Conceptual.***

Los conceptos que se van emplear son los concernientes al diseño por flexión y cortante en vigas rectangulares además del método de resistencia ultima.

### ***1.5.4 Operativa.***

El proyecto será realizado en la universidad francisco de paula Santander Ocaña empleando el programa Excel soportado en visual Basic (macros).

## Capítulo 2. Marco referencial

### 2.1 Marco Histórico

A lo largo de la historia de la construcción y la ingeniería civil se han venido implementando diversos materiales para el desarrollo de infraestructuras que ayudan al proceso del progreso y mejoramiento de la vida humana, la necesidad de este desarrollo género en las antiguas civilizaciones la necesidad de crear materiales que permiten facilitar los procesos de construcción y la calidad de dichas construcciones, uno de estos materiales es el hormigón armado el cual ha sido uno de los más utilizados a lo largo de la historia.

Las antiguas civilizaciones tuvieron diversas ideas frente a la implementación de estos materiales, dentro de las cuales se encuentra el juntar piedras usando amalgamador, es decir un material que permita la adherencia de las mismas. En la construcción de las pirámides de Giza, hacia el 2500 a.C los egipcios implementaron un mortero de cal y yeso.

El hormigón fue empleado en gran escala en obras como el Coliseo y el Panteón, dichas obras fueron construidas en Roma en los años 80 y 120 d.C.

No fue hasta la segunda mitad del siglo XVIII cuando se vuelve a emplear el uso del hormigón en Francia y en Inglaterra. El ingeniero Jhon Smeaton creo un nuevo mortero, este material se crea con la adición de una puzolana a una caliza con una alta porción de arcilla, dicho mortero se comportaba bien frente a la acción del agua del mar debido a la

presencia de arcilla en las calles, lo que permitía fraguar bajo el agua estando insoluble una vez endurecido.

La primera obra que se encuentra documentada en la cual se emplea el hormigón, es las nuevas dársenas en el puerto de Toulon (Francia) en 1748, dicha obra fue ejecutada por medio de capas alternas de hormigón fabricado con puzolana y mampostería irregular (Yepes, 2017).

La forma del primer hormigón armado surge cuando Lambot empieza a construir en Francia objetos en los que combina el hormigón con el acero en 1845 (Yepes, 2017).

Esto surge debido a que algunos elementos debían tener secciones muy grandes por la poca resistencia a la tracción que posee el hormigón simple, lo cual genera la necesidad de utilización del acero en algunos elementos lo que permite reducir la sección de dichos elementos gracias a la alta resistencia a la tracción de este material y el aporte a la compresión que ofrece.

A medida del paso del tiempo se fueron patentando diferentes obras en estructuras de hormigón armado, lo cual ha generado que cada día se tenga en cuenta mayores consideraciones para el diseño estructural de estas obras.

Como se pudo evidenciar el inicio del diseño estructural era netamente empírico, luego, gracias al avance continuo de los estudios e investigaciones del comportamiento de los materiales de construcción, como lo es el concreto reforzado, actualmente se tienen



diferentes métodos de diseño, siendo el método de resistencia última el utilizado por la NSR-10, este método se basa en el comportamiento de la estructura en el instante de falla.

Luego de haber realizado una búsqueda en internet, se encontró un trabajo similar, pero con otro enfoque y con otras consideraciones de diseño, el cual se trata de un trabajo de tesis realizado en la Universidad Santo Tomás de Bogotá Colombia, llamado Software educativo para el diseño de vigas isostáticas de concreto preesforzado, usando programación en Visual Basic. La principal diferencia se encuentra en que este trabaja solo elementos estructurales preesforzados, de igual forma, no contempla el método de resistencia última y no suministra datos para un diseño que cumpla los requerimientos establecidos en la NSR-10 (Possos, 2014).

Así mismo, se encontró un trabajo de tesis realizado en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil en Ecuador, con temática, software para el diseño de vigas de hormigón armado en pórticos especiales resistentes a momentos, el cual trabaja el mismo método de diseño y se basa en el reglamento ACI, en base al cual se establecen los requerimientos de diseño en la NSR-10, pero dicho software no contempla el cálculo de cortante debido a efectos sísmicos (Cañote, 2017).

## **2.2 Marco Contextual**

Teniendo en cuenta el arduo trabajo que genera un diseño estructural, ya que en este es donde se debe investigar que propiedades puede ofrecer un material considerando de

igual forma los costos que este tendrá, por medio del presente proyecto de grado, se pretende elaborar una herramienta tecnológica que genere un aporte en la ingeniería civil, específicamente en el campo del diseño estructural, dicha herramienta estará debidamente enlazada con cada una de las normativas exigidas para generar un diseño confiable y de calidad por medio de un software a través de Microsoft Excel.

Este proyecto se toma como un aplicativo que permitirá la mitigación de errores a la hora de diseñar en el caso específico de vigas prismáticas a flexión y cortante, para los diseñadores estructurales en Ocaña Norte de Santander, siguiendo los requisitos mínimos establecidos en la NSR-10, así como también la reducción del tiempo en el desarrollo de diversas fórmulas utilizadas para el diseño de estos elementos.

## **2.3 Marco Conceptual**

### ***2.3.1 Vigas***

Es un elemento estructural de concreto reforzado, resistente, capaz de conservar su forma y cualidades a lo largo del tiempo, bajo la acción de cargas y fuerzas exteriores a las cuales puede encontrarse sometido (Apaza, 2015).

Dicho elemento soporta principalmente cargas aplicadas y su propio peso, a través de momentos y cortantes internos (Wight & MacGregor, 2011).

### ***2.3.2 Diseño estructural***

Es el método que, partiendo de los datos iniciales del objeto a construir, como vigas, columnas y losas, es decir, las condiciones en las que el objeto se va a encontrar permiten obtener la forma y cualidades de dicho elemento para que este forme un sistema estructural que sea completo, estable, permanente y factible (Reboredo, 2016, p. 11).

Siendo entonces el objetivo final del diseño estructural proveer una estructura que pueda satisfacer una necesidad en particular cumpliendo al mismo tiempo los diferentes requerimientos de seguridad y economía. Lo anterior nos indica que en cada diseño estructural debe haber diferentes alternativas que nos permitan acceder a un diseño lo más económico posible cumpliendo con los estándares de seguridad y calidad (Hidalgo & Ridell, 2018, p. 10).

### ***2.3.3 Cuantía***

Geoméricamente este término se refiere a la relación existente entre el área de acero respecto al área bruta de concreto reforzado en una sección transversal, dicha sección puede referirse a vigas, losas, columnas o zapatas (Pardo, 2020).

La cuantía es considerada como la cantidad de acero que requiere el elemento estructural de manera óptima para poder soportar los esfuerzos de tensión.

### ***2.3.4 Acero***

Este es un material que posee características de resistencia, ductilidad, soldadura, tenacidad y corrosión, dentro del cual sus principales componentes son el hierro y carbono. Para su utilización en estructuras este se produce con especificaciones de composición química y resistencias determinadas según el requerimiento de los constructores (de C.V., 2014).

Este material es utilizado en la mayoría de los casos como acompañante del concreto simple, el cual permite mejorar las propiedades de este último debido a las limitaciones que presenta en los esfuerzos a tracción a los cuales es sometido.

### ***2.3.5 Concreto reforzado***

El concreto reforzado es un material perteneciente a la construcción civil que es utilizado en casi la mayoría de la obras que se ejecutan actualmente, este material posee capacidades de mejora en comparación con el concreto simple, dicho material es formado por la utilización de concreto simple con la adición de acero ya sea en barras corrugadas o mallas, debido a que el concreto simple posee características muy bajas de resistencia a la tracción lo que genera la adición de este material es contrarrestar esta limitación, lo que permite que se reduzca la aparición de grietas y fisuras en la vida útil de la estructura.

En otras palabras, podríamos decir que el concreto reforzado es un concreto simple con una armadura metálica interna, la cual posee la característica de resistir los esfuerzos de tensión y flexión a los que es sometida la estructura y así mismo los esfuerzos cortantes de la misma (G., 2021).

### ***2.3.6 Flexión***

Es un esfuerzo al que se encuentran sometidos los elementos estructurales el cual se da mediante la resultante de la aplicación de fuerzas perpendiculares al eje principal del elemento lo cual tiene a doblarlo, generando así esfuerzo de compresión en la parte cóncava del elemento y tensión en la parte convexa opuesta del mismo.

### ***2.3.7 Cortante***

Podemos entender la fuerza cortante como el resultado de la acción de la aplicación de fuerzas verticales sobre el elemento estructural que actúa sobre una sección determinada de dicho elemento y esta tiende a cortarlo, este esfuerzo se puede presentar tanto horizontal como verticalmente, dichos esfuerzos a su vez generan esfuerzos de compresión y de tracción diagonal.

### ***2.3.8 Visual Basic***

En la actualidad existen diversos lenguajes de programación, y este es considerado como uno de los más utilizados, entendiendo que puede haber otros con mucha más complejidad. El lenguaje nace del BASIC (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code), su versión inicial se origina en el Dartmouth College, con una función principal que era la de servir a todas las personas interesadas en aprender un nuevo lenguaje de programación. Fue en el año 1978, después de sufrir diversas modificaciones, cuando se estableció el BASIC estándar, dicho lenguaje generó sentimientos de desestimación en los programadores avanzados debido a la sencillez del mismo, este fue catalogado como “un lenguaje para principiantes” (anto\_724, Monografias.com, 2013).

### ***2.3.9 Excel***

Esta es una herramienta perteneciente al paquete de Microsoft para Windows, macOS, Android e IOS. Esta herramienta cuenta con hojas de cálculo, herramientas gráficas, tablas calculares y un lenguaje de programación conocido como Visual Basic para diferentes aplicaciones.

Esta herramienta permite a los diferentes usuarios poder crear tablas y formatos que contengan cálculos matemáticos mediante fórmulas, utilizando diferentes operadores matemáticos (Colaboradores de Wikipedia, 2021).

### ***2.3.10 Factor de seguridad***

Este factor indica la capacidad de exceso que tiene el sistema estructural en base a sus requerimientos, dicho factor se considera como el cociente resultante entre la fuerza última o máxima para el funcionamiento de la estructura y la fuerza realmente existente (Infaimon, 2018).

Lo que indica que este factor permite poder disminuir el grado de incertidumbre que generalmente se presente en los cálculos de un diseño o cualquier problema en la ingeniería.

## **2.4 Marco teórico**

### ***2.4.1 Método de la resistencia última***

A lo largo de los diferentes estudios y análisis realizados al concreto reforzado, se puede observar que en las curvas obtenidas de esfuerzo vs deformación la forma geométrica de la distribución de esfuerzos posee diferentes variaciones que dependen de factores como la resistencia del cilindro, la tasa de aplicación y la duración de la carga, lo que sustenta por qué no se ha podido desarrollar una teoría racional para la flexión del concreto reforzado, lo que conlleva a que los actuales métodos de análisis estén fundamentados en leyes conocidas de la mecánica y se complementan con gran información experimental cuando se considera necesario (Nilson, 2001, p. 70).

Mediante el método de tensión elástica o de trabajo, el diseñador obtiene la tensión y deformación que se producen en la estructura que soporta la carga de diseño, asumiendo los parámetros elásticos del material.

Mediante el método de resistencia última, también conocido como método de resistencia, los diseñadores podrán estudiar el comportamiento de la estructura en el momento de la falla; por lo tanto, si el momento es suficientemente mayor que el momento de trabajo de la carga que habitualmente soporta, se puede lograr un diseño con un factor de seguridad apropiado.

Es imposible conocer el trabajo de la estructura en su resistencia final a través del método elástico, debido a que el comportamiento del material inelástico en el momento de falla es diferente al comportamiento asumido durante la operación elástica, es decir, para su manejo de carga, esfuerzos y deformaciones admisibles.

Como introducción al estudio del comportamiento estructural en falla, se observa que los elementos de hormigón armado que están diseñados a flexión por cualquier método apropiado deben fallar cuando el acero a tracción alcanza su límite elástico. Es decir, si la carga se incrementa gradualmente hasta  $f_s = f_y$ , el elemento resistirá la carga adicional a medida que aumenta el brazo del par interior resistente hasta que se produzca la falla final por aplastamiento del concreto a compresión, aunque la falla inicial se debe a la fluencia del acero.

Luego, de acuerdo con la teoría de la resistencia última y la expresión de la cuantía máxima de refuerzo en el diseño balanceado y sus posibles limitaciones apropiadas, se



obtiene la expresión de momento resistente último para vigas rectangulares sometidas a flexión con acero de refuerzo a tracción.

Dentro de la cual se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- En el instante de la falla, la compresión C es igual a la tracción T
- Los momentos resistentes últimos son iguales a la fuerza interna a compresión o tracción por la distancia que existe entre estas dos fuerzas.
- Se tiene en cuenta que los elementos de concreto reforzado diseñados a flexión deben fallar cuando el acero de tracción alcanza su límite elástico.

En base a las consideraciones anteriormente mencionadas se obtiene la expresión conocida como la formula general de la resistencia ultima.

$$M_n = \rho \times f_y \times \left( 1 - 0,59 \times \rho \times \frac{f_y}{f_c} \right) b \times d^2 \quad (1)$$

#### ***2.4.2 Resistencia a la fuerza cortante proporcionada por el concreto***

La resistencia proporcionada por el concreto, para elementos que están sometidos únicamente a cortante y flexión, para diseño se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\phi V_c = \phi \times 0.17 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \quad (2)$$

O si se considera realizar un cálculo más detallado mediante la ecuación:

$$\phi V_c = \phi \times \left\{ 0.16 \times \sqrt{f_c} + 17 \times \rho_w \times \frac{V_u d}{M_u} \right\} \times b_w \times d \leq \phi \times 0.29 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \quad (3)$$

Sabiendo que  $M_u$  es el momento flector factorizado que se presenta simultáneamente con  $V_u$ , en la sección de diseño.

Teniendo en cuenta que:

- $\frac{V_u d}{M_u}$ , no debe ser mayor a 1.0 al calcular  $\phi V_c$
- $\rho_w$ , es la cuantía de refuerzo longitudinal
- $b_w$ , ancho de viga

Se debe tener en cuenta que cuando la fuerza cortante factorizada  $V_u$  exceda la resistencia a cortante de diseño  $\phi V_c$ , se deberá proporcionar refuerzo a cortante de manera que:

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c \quad (4)$$

Para el desarrollo de la misma se deberá tener en cuenta que  $\phi V_s$  se deberá calcular en concordancia con el tipo de refuerzo a utilizar, de la siguiente manera:

- Estribos perpendiculares al eje del elemento o malla soldada de alambre, con alambres también perpendiculares al mismo eje:

$$\phi V_s = \frac{\phi \times A_v \times f_y \times d}{s} \quad (5)$$

Donde,

$A_v$  = Area del refuerzo de cortante dentro de una distancia  $s$

- Estribos que forman un ángulo de  $45^\circ$  o más con el refuerzo longitudinal a tracción o refuerzo longitudinal cuya parte doblada forme un ángulo de  $30^\circ$  o más con el refuerzo longitudinal a tracción.

$$\phi V_s = \phi \frac{A_v \times f_{yt} \times (\text{sen } \alpha + \text{cos } \alpha) \times d}{s} \quad (6)$$

Donde,

$\alpha$  = Angulo entre los estribos inclinados o las barras longitudinales dobladas y el eje longitudinal del elemento.

- Cuando se cuente con combinaciones de estribos y refuerzo longitudinal doblado: en este caso, la resistencia de diseño  $\phi V_s$  se calculara como la suma de los valores de  $\phi V_s$  calculados para los diferentes tipos de refuerzo al igual que en todos los casos en los que se utilice más de un tipo de refuerzo.

La fuerza de fluencia de diseño del refuerzo a cortante no debe ser mayor de 420 MPa, excepto malla electro soldada en la cual su fluencia de diseño no debe

exceder los 550MPa, en la totalidad de los casos. Para la resistencia a cortante para diseño, proporcionada por el refuerzo, se deberá cumplir con la siguiente condición:

$$\phi V_s \leq 0.66 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \quad (7)$$

## 2.5 Marco Legal

- Norma colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-10), creada mediante la ley 400 de 1997 (Modificada Ley 1229 del 2008 y promulgada por el decreto 926 del 19 de marzo de 2010) (Ley 400, 2010).
- Licencias de Software, la ley 603 de 2000, dicha ley posee como función principal controlar la legalización y uso de software en empresas, compañías e instituciones, mediante la cual exige el cumplimiento de normas sobre propiedad intelectual y derechos de autor, todo esto con el fin de garantizar protección a la propiedad intelectual y de igual forma contribuye a la disminución de la piratería en Colombia (Softimiza, 2020).

## **Capítulo 3. Diseño metodológico**

### **3.1 Tipo de investigación**

El tipo de investigación que se desarrolla en este proyecto con lo correspondiente al diseño, es de tipo experimental, debido a que esta es apropiada para apreciar cuales variables son la causa de determinados efectos, por lo que se puede decir que comprende las razones por las cuales suceden determinados eventos. Según el nivel de profundidad de la investigación, es de tipo correlacional, ya que busca determinar el grado de relación existente entre dos o más variables. En cuanto al tipo de enfoque se considera que es una investigación aplicada, debido a que su fin es encontrar las estrategias que se puedan desarrollar para disminuir el tiempo requerido para un diseño.

### **3.2 Población y muestra**

#### ***3.2.1 Población***

Para el desarrollo del presente proyecto se tendrá en cuenta todas las vigas prismáticas en concreto reforzado que se presentan en Colombia.

### ***3.2.2 Muestra***

Para la obtención de este dato se tomará el diseño de vigas prismáticas a flexión y cortante de máximo cinco tramos, soportadas en apoyos simples, por ser las más utilizadas en el campo de la construcción en Colombia.

## **Capítulo 4. Resultados**

**4.1 Identificación de los criterios normativos acerca de los diferentes conceptos influyentes en el tema del diseño de vigas a flexión y a cortante mediante la consulta de la Norma Sismo Resistente (NSR-10), para establecer el estado del arte del desarrollo del aplicativo.**

### ***4.1.1 Criterios normativos para el dimensionamiento de vigas.***

Para el diseño de vigas de concreto reforzado debemos tener en consideración los diferentes requerimientos proporcionados por el reglamento colombiano sismo resistente del 2010 (NSR-10), mediante el cual se puede realizar el pre dimensionamiento de dichos elementos antes de proporcionar un diseño final. Los cálculos necesarios para hallar las dimensiones óptimas fueron realizados de forma tal que imposibilite un exceso de deformación para de esta forma evitar daño en los elementos no estructurales del sistema en conjunto.

Sabiendo que:

Las estructuras y los elementos estructurales deben ser diseñados para que tengan en cualquier sección una resistencia de diseño al menos igual a la resistencia requerida, calculada esta última para las cargas y fuerzas mejoradas en las condiciones establecidas en el Título C del reglamento NSR-10 (Norma Sismo Resistente, Capítulo C.9.1.1, 2010, p.C-123).

De acuerdo a lo anterior, para el redimensionamiento de vigas se tienen en cuenta los requisitos implantados en el título C.9, específicamente en la tabla C.9.5 (a) del reglamento sismo resistente, la cual indica la altura de las vigas y losas para que no exista la necesidad de calcular deflexiones.

Entonces las consideraciones para el cálculo de las dimensiones para elementos en una dirección que no soporten o estén ligados a muros divisorios u otro tipo de elementos susceptibles a dañarse debido a deflexiones grandes, teniendo en cuenta que estos deben ser modificados en caso de utilizar concretos que no sean de peso normal y refuerzo con una resistencia a la fluencia diferente de 420 MPa, estas consideraciones se muestran en la figura 1.

**Figura 1.**

*Tabla C.9.5(a)-Alturas o espesores mínimos de vigas no pre esforzadas o losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen las deflexiones*

**TABLA C.9.5(a) — Alturas o espesores mínimos de vigas no preesforzadas o losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen las deflexiones**

	Espesor mínimo, $h$			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que <b>NO</b> soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{20}$	$\frac{\ell}{24}$	$\frac{\ell}{28}$	$\frac{\ell}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{18.5}$	$\frac{\ell}{21}$	$\frac{\ell}{8}$

**NOTAS:**

Los valores dados en esta tabla se deben usar directamente en elementos de concreto de peso normal y refuerzo grado 420 MPa. Para otras condiciones, los valores deben modificarse como sigue:

(a) Para concreto liviano estructural con densidad  $w_c$  dentro del rango de 1 440 a 1 840 kg/m<sup>3</sup>, los valores de la tabla deben multiplicarse por  $(1,65 - 0.0003w_c)$ , pero no menos de 1.09.

(b) Para  $f_y$  distinto de 420 MPa, los valores de esta tabla deben multiplicarse por  $(0.4 + f_y / 700)$ .

*Nota.* Obtenido de Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, Título C, NSR-10 (2010), Bogotá D.C, Colombia. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

En caso contrario, es decir, para elementos en una dirección que soporten particiones livianas o muros divisorios de mampostería, susceptibles a dañarse debido a deflexiones grandes, se debe tener en cuenta lo establecido en la tabla CR.9.5 del reglamento Sismo Resistente, dichas consideraciones se muestran en la figura 2.



**Figura 2.**

*Tabla CR.9.5-Alturas o espesores mínimos recomendados para vigas no preesforzadas o losas reforzadas en una dirección que soporten muros divisorios y particiones frágiles susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes, a menos que se calculen las.*

**TABLA CR.9.5 — Alturas o espesores mínimos recomendados para vigas no preesforzadas o losas reforzadas en una dirección que soporten muros divisorios y particiones frágiles susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes, a menos que se calculen las deflexiones**

	Espesor mínimo, <b>h</b>			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{14}$	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{19}$	$\frac{\ell}{7}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{11}$	$\frac{\ell}{12}$	$\frac{\ell}{14}$	$\frac{\ell}{5}$

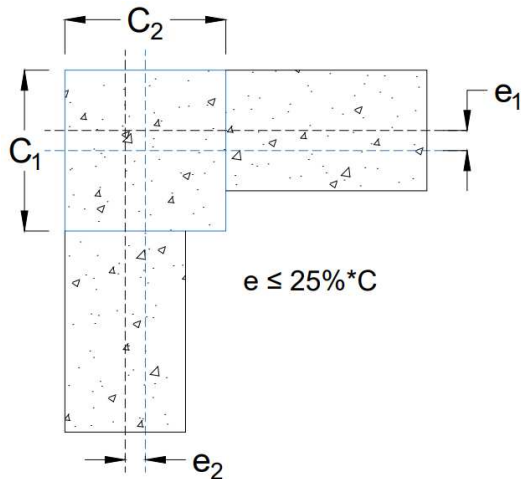
La Notas son las mismas de la Tabla C.9.5(a) del Reglamento.:

*Nota.* Obtenido de Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, Titulo C, NSR-10 (2010), Bogotá D.C, Colombia. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

A demás de las consideraciones mencionadas anteriormente, se debe tener en cuenta las dimensiones mínimas para el ancho de viga según la zona de amenaza sísmica en la cual se encuentre el proyecto a diseñar, mediante la cual se determina la capacidad de disipación de la energía con la que deberá pre dimensionar la estructura, ver apéndice A-4.

Primeramente, para zonas de amenaza sísmica baja, se deberá diseñar con una capacidad mínima de disipación de energía para la cual la norma no especifica ningún tipo de requerimiento.

Para el caso de zona de amenaza sísmica intermedia encontramos que dicha estructura podrá ser diseñada con capacidad moderada de disipación de energía y con capacidad especial de disipación de energía, pero por efectos de optimización de materiales y recursos dichas estructuras se diseñan con capacidad de disipación de energía moderada, en la cual según lo descrito en la sección C.21.3.4.1 del título C de la NSR-10, especifica que el ancho del elemento no debe ser menor que 0.2 m, adicionalmente se restringen las dimensiones de la base de la viga con respecto a las dimensiones de la sección transversal de la columna, en la que se especifica que “la excentricidad respecto a la columna que le da apoyo no puede ser mayor que el 25% del ancho del apoyo medido en la dirección perpendicular a la dirección del eje longitudinal de la viga”, a continuación se muestra en la figura 3 lo descrito anteriormente (Norma Sismo Resistente, Capítulo C.21.3.4.2, 2010, p.C-379).

**Figura 3.***Cálculo de excentricidad.*

Por otra parte, para el caso de estructuras que estén ubicadas en zona de amenaza sísmica alta deberán ser diseñadas con capacidad de disipación de energía especial, para la cual se especifica que el ancho del elemento no debe ser menor que el mayor valor entre  $0.3h$ , siendo  $h$  la altura de la viga y  $0.25m$ , condición descrita en la sección C.21.5.1.3 del Título C de la Norma Sismo Resistente Colombiana.

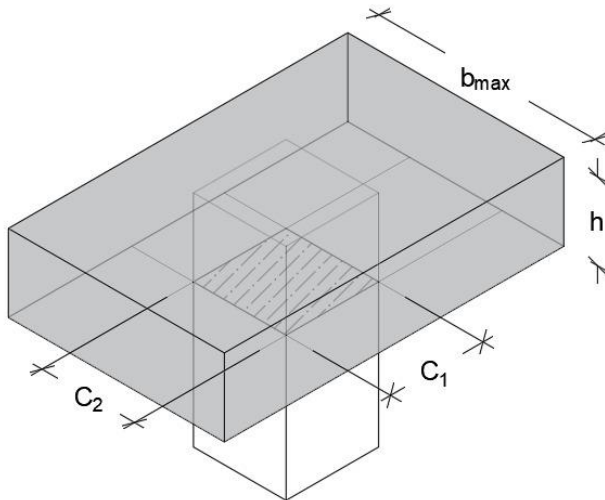
Adicionalmente, en la sección C.21.5.1.4 en el título C de la NSR-10, se especifica que el ancho de este elemento no debe sobrepasar el ancho del elemento de apoyo  $C_2$ , más una distancia a cada lado del elemento de apoyo que sea igual al menor entre las dos condiciones presentadas (a) y (b):

- (a) Ancho del elemento de apoyo  $C_2$
- (b)  $0,75$  veces la dimensión total del elemento de apoyo  $C_1$ .

En la figura 4 se muestra el criterio.

**Figura 4.**

*Base máxima según C.21.5.1.4*



Como consideración adicional para elementos sometidos a flexión en pórticos especiales resistentes a momento con capacidad especial de disipación de energía, en la sección C.21.5.1.2 la luz libre del elemento, no debe ser menor que cuatro veces su altura útil.

**4.1.2 Criterios normativos para el diseño a flexión de vigas.**

Teniendo en cuenta lo mencionado en la norma Colombiana, “el diseño por resistencia de elementos sometidos a flexión y cargas axiales debe basarse en las hipótesis dadas en C.10.2.2 a C.10.2.7, y debe satisfacer las condiciones de equilibrio y de

compatibilidad de deformaciones”, (Norma Sismo Resistente, Capitulo C.10.2.1, 2010, p. C-141) en los cuales en el C.10.2.2 se expresa que “las deformaciones unitarias en el esfuerzo y en el concreto deben suponerse directamente proporcionales a la distancia de eje neutro” (Norma Sismo Resistente, 2010, p.C-141). Para cumplir con los requisitos de C.10.2.6, se realiza una distribución rectangular equivalente de esfuerzos en el concreto, según las siguientes definiciones:

Un esfuerzo en el concreto de  $0.85f_c$  uniformemente distribuido en una zona de compresión equivalente, limitada por los bordes de la sección transversal y por una línea recta paralela al eje neutro, a una distancia  $a=B_1C$  de la fibra de deformación unitaria máxima en compresión (Norma Sismo Resistente, C.10.2.7.1, 2010, p. C-142).

La distancia desde la fibra de deformación unitaria máxima al eje neutro,  $C$ , se debe medir en dirección perpendicular al eje neutro (Norma Sismo Resistente, C.10.2.7.2, 2010, p. C-143).

Para  $f_c$  entre 17 y 28 MPa, el factor  $B_1$  se debe tomar como 0.82. Para  $f_c$  superior a 28 MPa,  $B_1$  se debe disminuir en forma lineal a razón de 0.05 por cada 7 MPa de aumento sobre 28 MPa, sin embargo,  $B_1$  no debe ser menor de 0.65 (Norma Sismo Resistente, C.10.2.7.3, 2010, p. C-143).

Para cumplir con estos requerimientos, el reglamento Colombiano según lo mencionado anteriormente, adopta una distribución rectangular equivalente de los esfuerzos de compresión, la cual fue propuesta por el investigador Charles S. Whitney inicialmente. Igual Para esto se busca obtener una expresión de momento resistente último para vigas

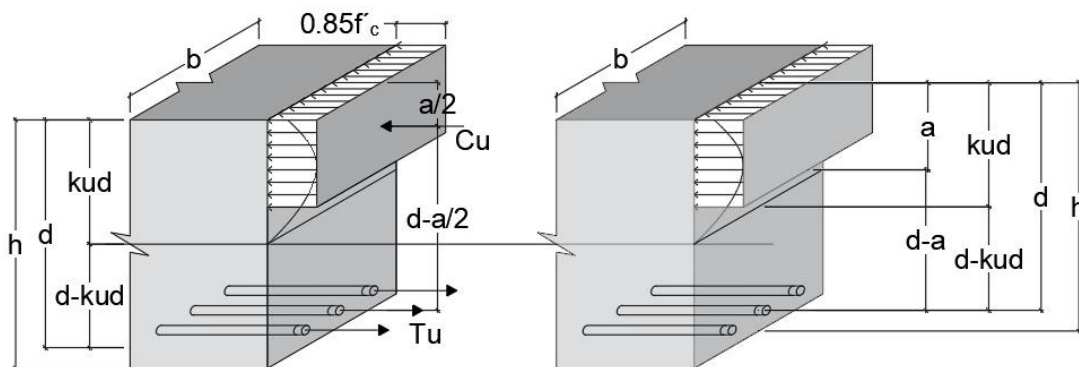
rectangulares sometidas a flexión con armadura a tracción, teniendo en cuenta la teoría de resistencia última y realizando la suposición de distribución rectangular de los esfuerzos de compresión como diagrama equivalente con un esfuerzo unitario de  $0.85f_c$ , complementando con las expresiones usadas actualmente en el diseño (Segura, 2011, p.65).

Para esto se realiza un procedimiento en el cual se parte de la sección longitudinal y transversal plana antes y después de la deformación por flexión, pero se realiza el reemplazo del bloque real de compresiones por uno equivalente de forma rectangular, en el que todos los esfuerzos de compresión iguales a  $0.85f_c$  se obtiene según lo mostrado en la figura 5.

Para la compresión  $C_u = T_u$  en el instante de falla:

### Figura 5.

*Diagrama transversal de esfuerzos*



*Nota.* El grafico se realizó según lo observado en el libro Estructuras de Concreto 1. (Segura, 2011).

Luego de realizar un análisis estático de la figura inmediatamente anterior se establece la fórmula para el cálculo de la profundidad del bloque rectangular de compresiones en función de  $\rho$  y los materiales.

Se obtiene:

$$0.85 \times f'_c \times a \times b = A_s \times f_y = \rho \times b \times d \times f_y \quad \therefore a = \frac{\rho \times f_y}{0.85 \times f'_c} \times d \quad (8)$$

Asimismo, en el instante de la falla, el momento resistente último está determinado por el acero de tracción al llegar a su límite elástico y se expresa como:

$$M_n = T_u \times (d - a/2) = \rho \times b \times d \times f_y \times (d - a/2) = \rho \times b \times d \times f_y \times \left( d - \frac{\rho f_y}{2 * 0.85 f'_c} d \right) \quad (9)$$

Reagrupando:

$$M_n = \rho \times f_y \times \left( 1 - 0.59 \times \frac{\rho \times f_y}{f'_c} \right) \times b \times d^2 \quad (10)$$

Obteniendo así la formula general de la resistencia última.

Para establecer una expresión límite de “a” en función de “d”, se trabaja con el momento resistente último por el concreto en compresión:

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_u \times (d - a/2) = 0.85 \times f'_c \times a \times b \times (d - a/2) \\
 &= 0.85 \times \frac{a}{d} \times \left(1 - \frac{a}{2d}\right) \times f'_c \times b \times d^2
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Realizando la igualación al promedio obtenido por el Sr. Whitney para el caso de falla para la  $\rho$  (cuantía) balanceada, dará el valor máximo de “a”:

$$\begin{aligned}
 M_n &= 1/3 \times f'_c \times b \times d^2 = 0.85 \times \frac{a}{d} \times \left(1 - \frac{a}{2d}\right) \times f'_c \times b \times d^2 \therefore a_{\text{máxima}} \\
 &= 0.537 \times d
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

Además, se puede obtener el valor de  $k_u$ , profundidad del eje neutro, con el fin de establecer una comparación, en función de “a”.

$$k_u = \frac{\rho \times f_y}{0.85 \times f'_c \times k_1}
 \tag{13}$$

En donde se reemplaza:

$$\frac{\rho \times f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{a}{d}
 \tag{14}$$

Entonces se tiene:



$$k_{ud} = a/k_1 \quad (15)$$

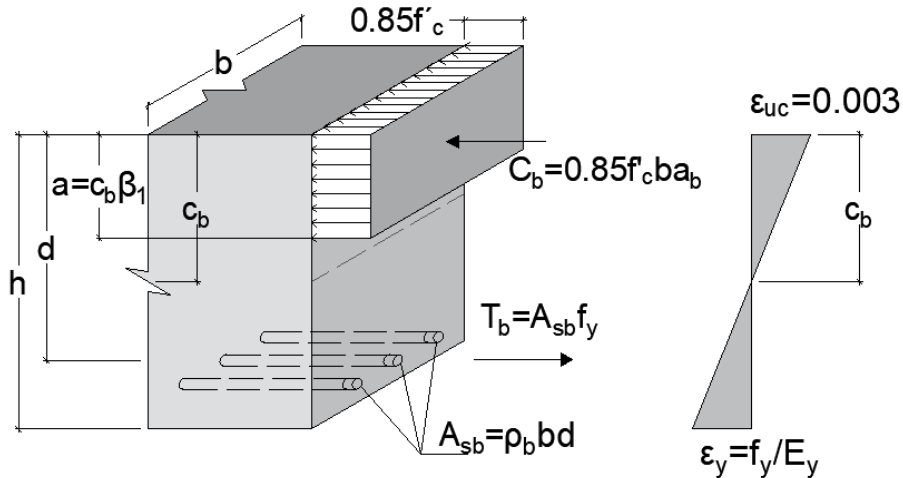
Y si se toma  $k_1 = 0.85$  para resistencias a compresión del concreto  $f'_c$  menores o iguales a 28 MPa, se obtiene:

$$k_{ud} = 1.18 \times a \quad (16)$$

Conociendo que en el reglamento sismo resistente colombiano (2010) se menciona que “La máxima deformación unitaria utilizable en la fibra extrema sometida a compresión del concreto se supone igual a 0.003” (C.10.2.3, p.C-141), y que de igual forma el esfuerzo en el concreto de  $0.85f'_c$  se encuentre distribuido uniformemente sobre una zona de compresión equivalente, limitada por los bordes de la sección transversal por una línea recta paralela al eje neutro a una distancia  $a = \beta_1 c$  de la fibra en compresión de máxima deformación unitaria, estas consideraciones se muestran en la figura 6 (Segura, 2011, p. 67).

**Figura 6.**

*Diagrama de esfuerzos limitada por a*



*Nota.* El grafico se realizó según lo observado en el libro Estructuras de Concreto 1.

(Segura, 2011).

En la figura se resume dicha aproximación, en donde el factor  $\beta_1$ , que se ha denominado como  $k_1$ , para resistencias a la compresión del concreto entre 17 MPa y 28 MPa debe tomarse como 0.85, asimismo, este se debe reducir a razón de 0.05 por cada 7MPa de aumento sobre 28 MPa para resistencias que superen los 28 MPa, pero,  $\beta_1$  debe ser mayor de 0.65 (Reglamento sismo resistente colombiano, C.10.2.7.3, 2010, p.C-143).

Por lo que:

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \times \left[ \frac{f'_c - 28}{7} \right] \geq 0.65 \quad (17)$$

Dependiendo si las secciones son controladas por la tracción o la compresión, el reglamento sismo resistente colombiano establece las expresiones del método de resistencia última, condicionando a reglamentar su utilización con especificaciones de seguridad apropiadas (Segura, 2011, p. 68).

Continuando con lo establecido en el reglamento colombiano, en el cual se establecen los principios y requisitos generales para el diseño de secciones transversales sometidas a cargas de flexión, cargas axiales o a la combinación de ambas (flexo-compresión), los cuales deben basarse en el equilibrio y la compatibilidad de deformaciones teniendo en cuenta las hipótesis mencionadas anteriormente del C.10.2.

En esta sección se menciona la condición de deformación balanceada que puede existir en la sección transversal del elemento, la cual se presenta cuando el esfuerzo en tracción alcanza la deformación unitaria a la par que el concreto en compresión obtiene su deformación unitaria última supuesta de 0.003, lo cual se puede observar en la figura 6 (Reglamento sismo resistente colombiano, C.10.3.2, 2010, p.C-143).

Luego, las secciones transversales que poseen la condición de control por tracción, es dada por la deformación unitaria neta de tracción en el refuerzo de acero extremo en tracción,  $\varepsilon_t$ , es igual o mayor a 0.005 cuando el concreto en compresión obtiene su límite de deformación unitaria supuesto de 0.003 (Reglamento sismo resistente colombiano, C.10.3.4, 2010, p.C-145).

Por medio de la figura 6 se obtienen las expresiones en el límite de dichas secciones, utilizando un subíndice t.

Realizando compatibilidad de deformaciones se tiene:

$$\frac{\varepsilon_c}{c} = \frac{\varepsilon_t}{d - c} \quad (18)$$

Despejando c:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c \times (d - c) &= c \times \varepsilon_t \\ \varepsilon_c \times d - \varepsilon_c \times c &= c \times \varepsilon_t \\ c &= \frac{\varepsilon_c \times d}{\varepsilon_c + \varepsilon_t} = \frac{0.003 \times d}{0.003 + 0.005} \\ c &= 0.375 \times d \end{aligned} \quad (19)$$

Sabiendo que:

$$a_t = \beta_1 \times c_t \therefore a_t = 0,375 \times \beta_1 d_t \quad (20)$$

Luego, obteniendo las fuerzas de compresión y tracción:

$$C_t = 0.85 \times f'_c \times b \times a_t = 0.319 \times \beta_1 \times f'_c \times b \times d_t$$

$$T = A_s \times f_y$$

Realizando equilibrio de fuerzas se tiene:

$$C = T$$

$$0.319 \times \beta_1 \times f'_c \times b \times d_t = A_s \times f_y$$

$$0.319 \times \beta_1 \times f'_c \times b \times d_t = \rho_t \times b \times d \times f_y$$

$$\rho_t = 0.319 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \quad (21)$$

Por ultimo tenemos:

$$Mn_t = \rho_t \times f_y \times \left( 1 - 0.59 \times \rho_t \times \frac{f_y}{f'_c} \right) \times b \times d_t^2 \quad (22)$$

Para reducir la capacidad de la sección, se tiene el coeficiente de reducción de resistencia  $\phi$ , de igual forma las aproximaciones en las ecuaciones de diseño reflejan el grado de ductilidad y confiabilidad requerida del elemento para soportar la carga correspondiente, y tienen en cuenta la importancia del elemento en la estructura (Segura, 2011. p.75).

Obteniendo entonces la siguiente ecuación para momento actuante ultimo o de diseño.

$$\phi M_n = \phi \times \rho \times f_y \times \left( 1 - 0.59 \times \frac{\rho \times f_y}{f'_c} \right) \times b \times d^2 \quad (23)$$

Luego de obtener la fórmula de diseño, encontramos el refuerzo mínimo para elementos sometidos a flexión, según lo establecido en el reglamento colombiano sismo resistente del 2010 en el capítulo C.10.5.1, en el cual se establece que cuando dichos elementos requieran de refuerzo a tracción, el área de acero  $A_s$ , proporcionado debe ser mayor que el obtenido por la siguiente ecuación:

$$A_{s,\min} = \frac{0.25 \times \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b_w \times d \quad (24)$$

Pero de igual manera, esta no debe ser menor que:

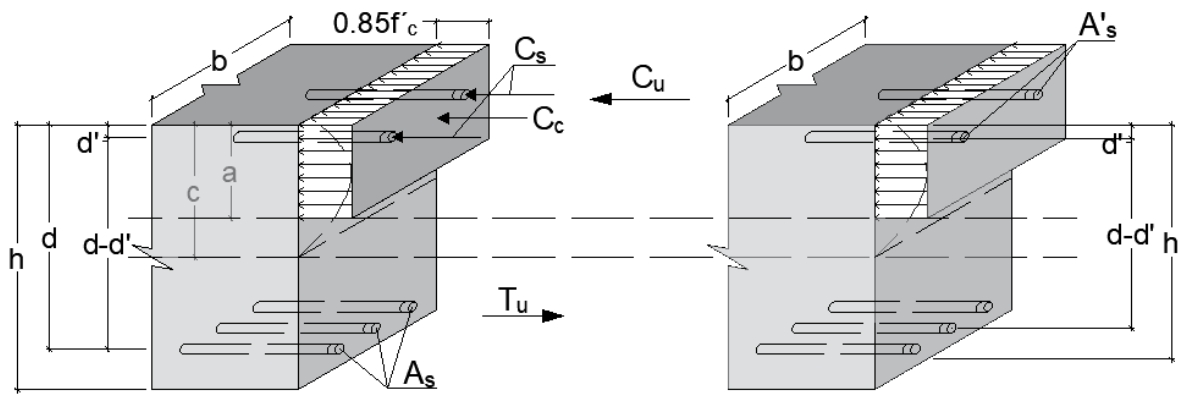
$$A_{s,\min} = \frac{1.4 \times b_w \times d}{f_y} \quad (25)$$

Además, encontramos las vigas con armadura a compresión las cuales se producen debido a que no es posible aumentar el tamaño de las secciones que se encuentran bajo efectos de momentos flectores últimos o de diseño superiores que los soportados por la sección, por lo que se debe utilizar un refuerzo en el área de compresión que implica una armadura adicional a tracción. Dicha armadura también se utiliza para reducir las flechas por fluencia lenta o retracción de fraguado, también si esta armadura se usa para el sostenimiento de estribos, en estos casos el uso de la armadura en el área de compresión no se da por razones de resistencia (Segura, 2011, p.84).

Seguido de esto podemos observar las relaciones para el diseño de estas vigas, que son llamadas también como vigas con armadura doble por el método de resistencia ultima, las cuales será determinadas por medio de la teoría de resistencia ultima y con los requerimientos del reglamento colombiano sismo resistente. A continuación, por medio de la figura 7 podremos determinar estas expresiones.

**Figura 7.**

*Diagrama de esfuerzos para sección doblemente reforzada*



*Nota.* El grafico se realizó según lo observado en el libro Estructuras de Concreto 1. (Segura, 2011).

Sabiendo que:

$A_s$  = Area total del acero en traccion

$A'_s$  = Area del acero en compresion

$A_s - A'_s$  = Armadura a traccion correspondiente a la compresion en el concreto

Teniendo en cuenta que el área de acero en tracción y el área de acero en compresión en el instante de falla llegan a su límite elástica, se tiene lo siguiente:

$M_n$  = momento resistente ultimo o de falla =  $M_{n1} + M_{n2}$ , en donde:

$M_{n1} = (A_s - A'_s) \times f_y \times (d - a/2)$ , que es considerado el momento desarrollado por la armadura a tracción ( $A_s - A'_s$ ) y la compresión en el concreto.

Y luego:

$M_{n2} = A'_s \times f_y \times (d - d')$ , lo cual es considerado la parte del momento desarrollado en la armadura a compresión por las fuerzas y un área igual de la armadura a tracción.

Para obtener el momento resistente último, se denomina que:

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \quad (26)$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{bd} \quad (27)$$

Por lo que se obtiene que:

$$a = \frac{(\rho - \rho') \times f_y}{0.85 \times f'_c} \times d \quad (28)$$

Obteniendo que la fórmula de momento resistente último es entonces:

$$M_n = (A_s - A'_s) \times f_y \times (d - a/2) + A'_s \times f_y \times (d - d') \quad (29)$$



Teniendo en cuenta lo mencionado en el reglamento colombiano sismo resistente, con respecto a la resistencia de diseño suministrada por un elemento, sus secciones transversales y su conexión con otros elementos, en flexión, carga axial, cortante y torsión, debe tenerse como la resistencia nominal calculada según lo que se estipula en los requisitos y supuestos del título C del reglamento NSR-10, multiplicada por los factores de reducción de resistencia  $\phi$ , dado en C.9.3.2, C.9.3.4 Y C.9.3.5.

Para el caso de vigas, lo cual representa secciones controladas por tracción, según lo explicado anteriormente, dicho factor de reducción de resistencia se define en C.9.3.2.1 del reglamento colombiano sismo resistente con un valor de 0.9. Obteniendo así el momento de diseño:

$$\phi M_n = \phi \times \{(A_s - A'_s) \times f_y \times (d - a/2) + A'_s \times f_y \times (d - d')\} \quad (30)$$

#### ***4.1.3 Criterios normativos para el diseño a cortante en vigas.***

Inicialmente se plantea que el diseño de secciones transversales sometidas a cortante, a excepción de elemento diseñados de acuerdo con el apéndice C-A, dicho diseño debe estar basado en:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (31)$$

Sabiendo que  $V_u$  es la fuerza cortante mayorada en la sección y a su vez  $V_n$  es la resistencia nominal cortante la cual es calculada por medio de:

$$V_n = V_c + V_s \quad (32)$$

Teniendo en cuenta que la resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto es denominada como  $V_c$ , y es calculada de acuerdo a C.11.2, C.11.3, o C.11.11 y que la resistencia nominal al cortante proporcionado por el esfuerzo de cortante es  $V_s$  la cual es calculada mediante C.11.4, C.11.9.9 o C.11.11 (Reglamento Sismo Resistente Colombiano, C.11.1.1, 2010, p.C-169).

Para consideraciones en el diseño se tiene entonces:

$$V_u = \phi V_n = \phi V_c + \phi V_s \quad (33)$$

De donde,

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c \quad (34)$$

De acuerdo a lo anterior podemos determinar que se debe proporcionar refuerzo a cortante cuando  $V_u$  sobrepase la resistencia a cortante de diseño del concreto.

El coeficiente de reducción de resistencia se tomará de 0.75, según la consideración especificada en el reglamento sismo resistente colombiano, en el C.9.3.2.3.

Luego, se menciona que para elementos no preesforzados, en nuestro caso vigas, se permite realizar el diseño de la sección de este elemento localizadas a una distancia menor a  $d$ , es decir la altura efectiva, medida desde la cara del apoyo para el  $V_u$  calculado a la distancia  $d$  (Reglamento Sismo Resistente Colombiano, C.11.1.3.1, 2010, p.C-170).

Seguido a esto, encontramos en el C.11.2 la resistencia al cortante proporcionada por el concreto en elementos no preesforzados. Se debe tener en cuenta que  $V_c$  debe ser calculado, para el caso de elementos sometidos únicamente a cortante y flexión, como se muestra en la ecuación (2) del presente documento (Reglamento Sismo Resistente Colombiano, C.11.2.1.1, 2010, p.C-173).

Donde  $\lambda$  es el factor de modificación descrito en C.8.6.1, esta toma un valor de 1.0 para concreto de peso normal. De igual forma encontramos que se permite calcular este valor mediante un método más detallado, para elementos sometidos únicamente cortante y flexión, como se muestra en la ecuación (3) (Reglamento Sismo Resistente Colombiano, C.11.2.2.1, 2010, p.C-173).

Sabiendo que  $M_u$  es el momento flector factorizado y  $\rho_w$  es la cuantía de refuerzo longitudinal definida mediante  $A_s/b_w d$  y  $b_w$  es el ancho del nervio. Si se calcula este valor mediante la ecuación (3), se debe tener en cuenta que  $V_u d/M_u$  no debe tomarse mayor que

1.0, y  $M_u$  ocurre simultáneamente con  $V_u$  en la sección considerada, así mismo, este no debe ser mayor que  $\phi \times 0.29 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$  (Segura, 2011, p.136).

Posteriormente encontramos que para la resistencia al cortante proporcionada por el esfuerzo cortante, se debe tener presente que los esfuerzos  $f_y$  y  $f_{yt}$ , resistencia especificada a la fluencia del refuerzo y resistencia especificada a la fluencia del refuerzo transversal respectivamente, utilizados en el diseño del refuerzo para cortante deben ser menores de 420MPa, a excepción del refuerzo electrosoldado de alambre corrugado en el cual este debe ser menor de 550 MPa (Reglamento Sismo Resistente Colombiano, C.11.4.2, 2010, p.C-179).

Para el diseño del refuerzo para cortante, como se mencionaba anteriormente, cuando  $V_u$  excede  $\phi V_c$ , dicho refuerzo debe ser establecido mediante las ecuaciones 30 y 31, en la cual  $V_s$  debe calcularse para el caso en el que se utilice refuerzo para cortante perpendicular al eje del elemento mediante la fórmula (5) (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, C.11.4.7.2, 2010, p.C-182).

Considerando que  $A_v$  es el área de refuerzo para cortante dentro de un espaciamiento  $s$ . En el mismo capítulo se encuentra la consideración de que la resistencia a cortante para diseño proporcionada por el refuerzo  $V_s$ , debe tener en cuenta lo descrito en (7) (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, C.11.4.7.9, 2010, p.C-183).

Para determinar el espaciamiento del refuerzo cortante encontramos los límites establecidos mediante el reglamento colombiano de construcción sismo resistente en el C.11.4.5, en el que se menciona que dicho espaciamiento si es colocado perpendicularmente al eje del elemento este debe ser menor que  $d/2$  ni de 0.6m.

Para cuando  $V_s$  sea mayor que  $0.33 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$  las separaciones mencionadas anteriormente deben reducirse a la mitad (Reglamento Sismo Resistente Colombiano, C.11.4.5.3, 2010, p.C-179).

Adicional a esto se deben tener en cuenta las consideraciones mencionadas en el capítulo C.21, del reglamento sismo resistente colombiano. Estas consideraciones se presentan para vigas con capacidad moderada de disipación de energía, para las cuales se establece que deben ubicarse estribos cerrados de confinamiento al menos No. 3 (3/8") o 10M(10mm) por longitudes iguales a  $2h$ , en ambos extremos del elemento, medida desde la cara del elemento de apoyo hacia el centro de la luz, así como también, que el estribo inicial de confinamiento debe ubicarse a una distancia de 0.5 m de la cara del elemento de apoyo. Este espaciamiento de estribos cerrados de confinamiento no debe sobrepasar el menor de:

- $d/4$
- $8\phi_b$
- $24\phi_\varepsilon$
- 300mm

Para el caso de elementos sometidos a flexión con capacidad especial de disipación de energía, se establece que el estribo cerrado de confinamiento inicial deber ubicarse a una

distancia menor de 50 mm de la cara del elemento de apoyo. Este espaciamiento no debe exceder los menores de, (Reglamento Sismo Resistente Colombiano, C.21.5.3.2, 2010, p.C-179).

- $d/4$
- $6\phi_b$
- 150 mm

En los elementos de concreto reforzado en los que se requiera refuerzo para cortante o para resistencia, el área de refuerzo mínimo a cortante  $A_{v,min}$  para elementos preesforzados y no preesforzados se deberá colocar mediante la especificación de área mínima transversal dada por la siguiente expresión.

$$A_{v,min} = 0.064 \times \sqrt{f'_c} \times \frac{b_w \times S}{f_{yt}} \geq \frac{0.35 \times b_w \times S}{f_{yt}} \quad (35)$$

En la que  $b_w$  y  $S$  se expresan en mm y  $f_y$  en MPa.

La expresión descrita anteriormente puesta en forma de separación de los estribos se muestra como:

$$S = \frac{A_v \times f_{yt}}{0.062 \times \sqrt{f'_c} \times b_w} \leq \frac{A_v \times f_{yt}}{0.35 \times b_w} \quad (36)$$

De este requisito se exceptúan las zapatas y losas sólidas, los elementos alveolares con una altura total, sin incluir el afinado de piso, menor de 315 mm y unidades alveolares

donde  $V_u$  es menor de  $0.5\phi V_{cw}$ , losas nervadas de concreto con viguetas, las vigas con  $h$  menor de 250 mm, vigas integrales con losas con altura menor de 600 mm, y menor que el mayor de 2.5 veces el espesor del ala, o 0.5 veces el ancho del alma, y las vigas construidas con concreto de peso normal reforzado con fibra de acero, con un  $f'_c$  que no excede de 40Mpa, con una altura menor de 600mm y  $V_u$  menor de  $\phi 0.17\sqrt{f'_c}b_wd$ .

Adicional a los criterios mencionados anteriormente, se incluye el criterio mencionado en el reglamento sismo resistente colombiano, en el que se menciona que las vigas pueden sufrir una rotula plástica en el instante que un sismo impacta la estructura.

Este criterio se condiciona según la zona de sismicidad, para el caso de zona de sismicidad intermedia se menciona en el literal C.21.3.3 y para el caso de zona de sismicidad alta se menciona en el literal C.21.5.4.1 del título C de dicho reglamento.

#### **4.2 Establecer un algoritmo del procedimiento para la realización del diseño a flexión y cortante por el método de resistencia última, cumpliendo los requerimientos de la NSR-10, para la posterior digitación de código de programación.**

Considerando la gran importancia que poseen las representaciones visuales para facilitar la presentación del flujo de datos dentro de un código de programación, se realiza un diagrama de flujo que nos muestra el procedimiento interno que desarrolla el aplicativo para el diseño a flexión y cortante por el método de resistencia ultima, para que el usuario

observe de una forma más sencilla los procedimientos que este realiza y de esta manera se pueda realizar un mejor y correcto uso del mismo.

Debido a esto luego de haber determinado el algoritmo del procedimiento a diseño a flexión y cortante, se procedió a determinar la secuencia lógica por la cual deben pasar los datos de entrada, para de esta forma obtener los datos de salida, la cual se presenta en el diagrama de flujo, ver apéndice 5. Por otra parte, dicho diagrama

cuenta con 5 grandes ramas las cuales corresponde a la condición de tramos de viga y en cada rama se muestran todas las decisiones, procesos y subprocesos desarrollados en el interior de la herramienta tecnológica.

#### **4.3 Calibración del aplicativo a través de la revisión y comparación de los procesos y resultados del mismo, con los presentados en los libros Estructuras de concreto I séptima edición de Jorge Ignacio Segura Franco.**

Para el desarrollo de este objetivo se realizarán tres ejercicios establecidos en el libro de estructuras de concreto I séptima edición de Jorge Ignacio Segura Franco, los cuales corresponden a diseño a flexión simplemente reforzado, diseño a flexión doblemente reforzado y diseño a cortante con cargas gravitacionales, respectivamente, dado que en dicho libro no se encuentran ejercicios que se desarrollen flexión y cortante simultáneamente.

##### ***4.3.1 Calibración de diseño a flexión simplemente reforzado***

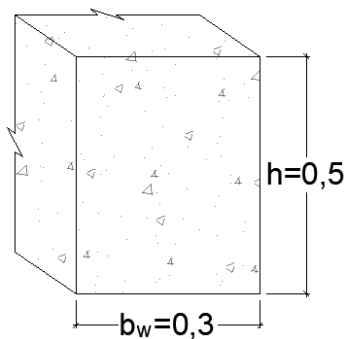


El ejercicio se encuentra descrito en el libro de estructura de concreto I de Jorge Ignacio Franco Segura, problema 2.12 en la página 78, el cual consiste en diseñar la armadura necesaria a flexión en una viga de base de 0.3m y altura de 0.5m, en condición simplemente apoyada en una luz de 8 m, armada en concreto de  $f'_c = 21.1$  MPa y acero para  $f_y = 240$  MPa y un momento ultimo de  $103.20$  kN×m.

Se tomarán los datos resultantes del ejercicio que se encuentran estipulados en el libro mencionado y se comparará, mediante un gráfico, con los datos obtenidos mediante el desarrollo del ejercicio con el aplicativo creado, el ejercicio desarrollado por medio del aplicativo se podrá observar en el apéndice 1. A continuación, en la figura 8 y figura 9 podemos observar la sección transversal de este problema y los diagramas de cortante y momento flector del problema descrito anteriormente respectivamente.

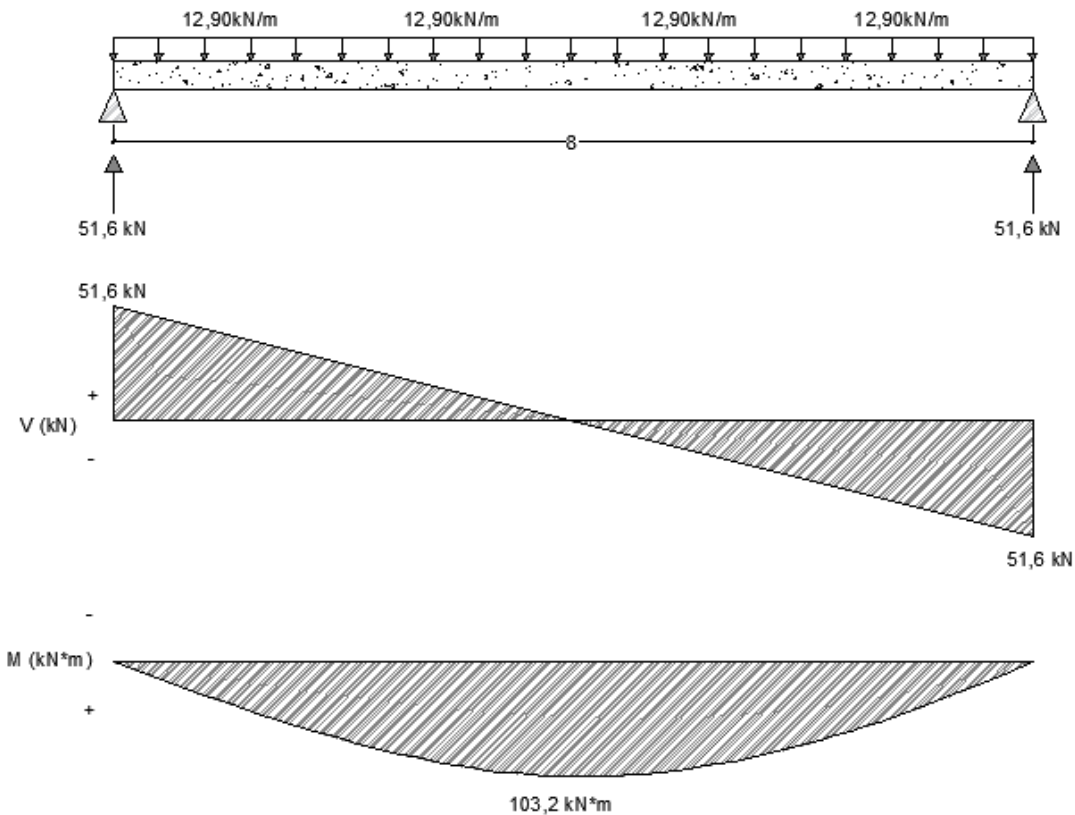
**Figura 8.**

*Sección transversal de viga*



**Figura 9.**

*Diagrama cortante y momento flector viga simplemente reforzada*

**Tabla 1.**

*Resultados obtenidos mediante el libro y el aplicativo a flexión simplemente reforzado*

Datos encontrados en el libro Estructuras de Concreto I	Datos calculados mediante el aplicativo
$d = 0.44 \text{ m}$	$d = 0.4394 \text{ m}$
$M_u = 103.2 \text{ kN} \times \text{m}$	$M_u = 103.2 \text{ kN} \times \text{m}$
$\rho = 0.00874$	$\rho = 0.008766$
$A_s = 1154 \text{ mm}^2$	$A_s = 1155.66 \text{ mm}^2$
	$A_{s1\text{min}} = 629.24 \text{ mm}^2$
	$A_{s2\text{min}} = 768.95 \text{ mm}^2$
$A_{s\text{suministrado}} = 1161 \text{ mm}^2 (3\phi 7/8")$	$A_{s\text{suministrado}} = 1161 \text{ mm}^2 (3\phi 7/8")$

Luego de observar y comparar los datos del libro y el aplicativo podemos deducir que el margen de error presente es mínimo, por tanto, los resultados del aplicativo para diseño a flexión simplemente reforzado son confiables. Adicionalmente, se tiene en cuenta el requisito de área mínima estipulado en el Reglamento Sismo Resistente Colombiano, el cual también es mencionado en el libro Estructuras de Concreto I de Jorge Ignacio Franco Segura, a diferencia que en el desarrollo del ejercicio en el libro no es verificado dicho requerimiento.

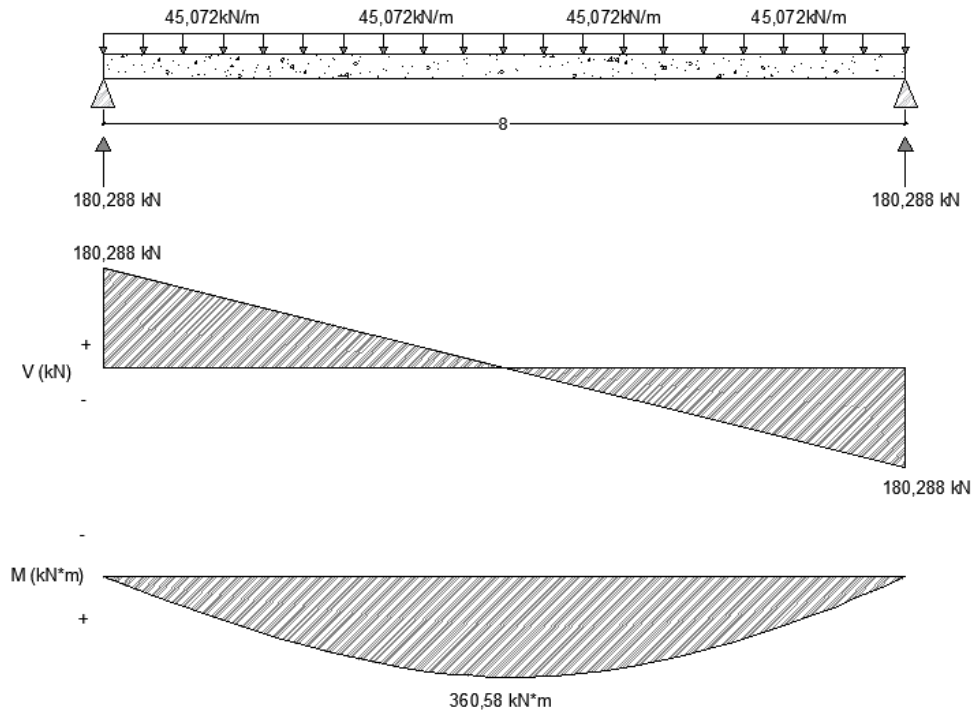
#### ***4.3.2 Calibración de diseño a flexión doblemente reforzado***

El ejercicio se encuentra descrito en el libro de estructura de concreto I de Jorge Ignacio Franco Segura, problema 2.16 en la página 90, el cual consiste en diseñar la armadura necesaria a flexión en una viga de base de 0.3 m y altura de 0.5 m, en condición simplemente apoyada en una luz de 8 m, armada en concreto de  $f'_c = 21.1$  MPa y acero para  $f_y = 240$ MPa y un momento ultimo de 360.58 kN×m.

Se tomarán los datos resultantes del ejercicio que se encuentran estipulados en el libro mencionado y se comparará, mediante un gráfico, con los datos obtenidos mediante el desarrollo del ejercicio con el aplicativo creado, el ejercicio desarrollado por medio del aplicativo se podrá observar en el apéndice 2. A continuación, se muestra en la figura 10 el diagrama de cortante y momento flector del problema descrito.

**Figura 10.**

*Diagrama de cortante y momento flector viga doblemente reforzada.*

**Tabla 2**

*Resultados obtenidos mediante el libro y el aplicativo a flexión doblemente reforzado*

Datos libro Estructuras de Concreto I	Datos calculados mediante el aplicativo
$d = 0.41 \text{ m}$	$d = 0.4124 \text{ m}$
$\rho_{\max} = 0.02384$	$\rho_{\max} = 0.02384$
$M_{\max} = 218.14 \text{ kN} \times \text{m}$	$M_{\max} = 220.89 \text{ kN} \cdot \text{m}$
$\Delta_M = 144.44 \text{ kN} \times \text{m}$	$\Delta_M = 139.89 \text{ kN} \cdot \text{m}$
$A_s = 4843 \text{ mm}^2$	$A_s = 4798.69 \text{ mm}^2$
$A'_s = 2065 \text{ mm}^2$	$A'_s = 1998.69 \text{ mm}^2$
$f'_s = 222 \text{ MPa}$	$f'_s = 222.065 \text{ MPa}$

$$\rho - \rho'_{\text{suministrado}} = 0.02384$$

$$\rho - \rho'_{\text{suministrado}} = 0.02263$$

$$\rho - \rho'_{\text{min}} = 0.015493$$

$$\rho - \rho'_{\text{min}} = 0.01597$$


---

De igual forma que para el caso anterior, se evidencio que la diferencia en los resultados obtenidos de forma manual en el libro, en comparación, con los obtenidos en el aplicativo, no representan una variación considerable por lo que se estima que los resultados proporcionados por el aplicativo son confiables.

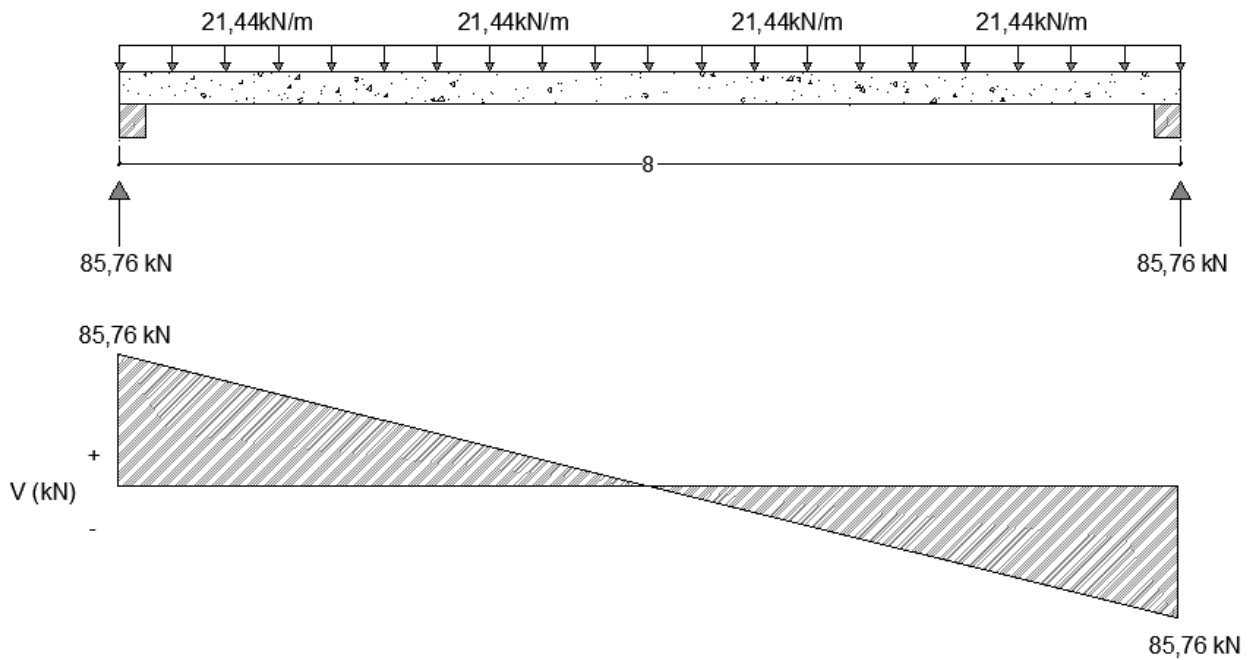
#### ***4.3.3 Calibración de diseño a cortante.***

El ejercicio implementado se encuentra descrito en el libro de estructura de concreto I de Jorge Ignacio Franco Segura, problema 3.1 en la página 144 del mismo, el cual consiste en diseñar la armadura necesaria a cortante en una viga de base de 0,3m y altura de 0,5m, en condición simplemente apoyada en una luz de 8 metros, armada en concreto de  $f'_c = 21.2 \text{ MPa}$  y acero para  $f_y = 240 \text{ MPa}$ , que soporta una carga uniformemente distribuida de 21,44 kN/m, por lo que luego del análisis estático se obtuvieron los diagramas de Cortante y momento flector mostrados en la figura 11 del presente documento.

Por lo anterior se tomarán los datos resultantes del ejercicio que se encuentran estipulados en el libro mencionado y se comparará, con los datos obtenidos mediante el desarrollo del ejercicio en el aplicativo creado mostrado en el apéndice 3 de este documento.

**Figura 11.**

*Diagrama de viga y cortante para diseño*



Por lo anterior se obtiene la comparación relacionada a continuación, donde se puede observar las distintas separaciones máximas para diámetro de estribos de N°2 y N°3, según los requisitos establecidos a lo largo del numeral C.11 de la NSR-10 para el diseño por esfuerzo cortante producido por las cargas gravitacionales.

**Tabla 3.***Datos obtenidos de cortante*

<b>Descripción</b>	<b>Libro Estructuras de Concreto I</b>	<b>Aplicativo</b>
Altura efectiva (flexión)	$d = 0.41 \text{ m}$	$d = 0.4124 \text{ m}$
Cortante ultimo a una distancia $d$ de la cara del apoyo	$V_{ud} = 133,72 \text{ kN}$	$V_{ud} = 133,72 \text{ kN}$
Resistencia al cortante aportada por el concreto	$\phi V_c = 71.98 \text{ kN}$	$\phi V_c = 72.46 \text{ kN}$
Resistencia al cortante aportada por el acero transversal	$\phi V_s = 61.74 \text{ kN}$	$\phi V_s = 61.26 \text{ kN}$
Límites para el espaciamiento del refuerzo a cortante $\frac{d}{2}$	$S_{c11} = 0.20\text{m}$	$S_{c11} = 0.21\text{m}$

**Tabla 4.***Separaciones máximas para diámetro N° 2*

<b>Descripción</b>	<b>Libro Estructuras de Concreto I</b>	<b>Aplicativo</b>
Separación por según $V_s$	$S_{vs(1/4'')} = 0.07 \text{ m}$	$S_{vs(1/4'')} = 0.08 \text{ m}$
Separación por área mínima según C.11.4.6.3	$S_{Av1(1/4'')} = 0.18\text{m}$	$S_{Av1(1/4'')} = 0.18\text{m}$
Separación por área mínima según C.11.4.6.3	$S_{Av2(1/4'')} = 0.146\text{m}$	$S_{Av2(1/4'')} = 0.15\text{m}$

**Tabla 5.***Separaciones máximas para diámetro N° 3*

<b>Descripción</b>	<b>Libro Estructuras de Concreto I</b>	<b>Aplicativo</b>
Separación por según $V_s$	$S_{vs(3/8'')} = 0.17 \text{ m}$	$S_{vs(3/8'')} = 0.17 \text{ m}$
Separación por área mínima según C.11.4.6.3	$S_{Av1(3/8'')} = 0.37\text{m}$	$S_{Av1(3/8'')} = 0.36\text{m}$
Separación por área mínima según C.11.4.6.3	$S_{Av2(3/8'')} = 0.31\text{m}$	$S_{Av2(3/8'')} = 0.30\text{m}$

Por tanto, luego de un análisis de los datos mostrados en las tablas 3, 4 y 5 se pudo apreciar una diferencia mínima la cual se produce a razón de que el libro trabaja aproximando datos mientras el aplicativo implementa todos los decimales permitidos por Excel lo que garantiza una mayor precisión en los resultados.

Continuando con el desarrollo del objetivo, se realizó la comparación de las máximas separaciones definitivas con diámetro de estribo de 3/8", tal como se evidencia en la tabla 6, para el ejercicio planteado, observando una coincidencia, lo que conlleva a la deducción de que la herramienta tecnológica realiza diseños por cargas gravitacionales de forma confiable.

**Tabla 6.**

*Separación máxima definitiva*

<b>Libro Estructuras de Concreto I</b>	<b>Aplicativo</b>
0.17 m	0.17 m

Por otra parte con el objetivo de obtener diseños sísmicos en la herramienta tecnológica desarrollada se le adicionaron las consideraciones establecidas en el numeral C.21 por que se establecieron nuevas separaciones, las cuales tienden a ser más restrictivas en cuanto a la separación de estribos, por lo que implementa una zona de confinamiento de acero transversal la cual equivale a una distancia de  $2h$  medida desde la cara de los apoyos, para dicha zona se implementan las separaciones descritas a continuación, ver tabla 7



**Tabla 7.**

*Separación máxima para zona de confinamiento diámetro N<sup>o</sup>2 y N<sup>o</sup>3*

<b>Separación máxima para zona de confinamiento (C.21.3.4.6 o C.21.5.3.2)</b>	<b>Aplicativo</b>
$\frac{d}{2}$	$S_{1-c21} = 0.10m$
8 $\emptyset$ barra longitudinal ó 6 $\emptyset$ barra longitudinal	$S_{2-c21} = 0.20m$
24 $\emptyset$ estribo $\frac{1}{4}$ "	$S_{3-c21(1/4'')} = 0.15m$
24 $\emptyset$ estribo $\frac{3}{8}$ "	$S_{3-c21(3/8'')} = 0.23m$

Adicional a lo anterior se incorporó una sección en el diseño a cortante donde se realiza dicho diseño, con la incorporación del cortante que se produce por el momento de plastificación presente en los extremos de los tramos durante el evento sísmico, ver tabla 8, conocido como el cortante máximo, dichos momentos se determinan de acuerdo con la capacidad de disipación con la que se esté desarrollando en el diseño, de la siguiente manera:

- Capacidad de disipación de energía mínima, DMI, para este caso no se contempla el efecto sísmico, solo se diseña por cortante con cargas gravitacionales.
- Capacidad de disipación de energía moderada, DMO, para este caso el momento corresponde a los momentos nominales, estimado con la cuantía de acero longitudinal de sección
- . Capacidad de disipación de energía especial, DES, para este caso el momento corresponde al momento de resistencia probable, estimado con la cuantía de acero longitudinal de sección

además de las comparaciones ya realizada se procedió a realizar la comparación del diseño a cortante por cargas gravitacionales y el cortante máximo obteniéndose lo siguiente.

**Tabla 8.**

*Comparación de separaciones máxima por carga gravitacional y cortante máximo*

<b>Descripción</b>	<b>Cortante máximo</b>
cuantía máxima suministrada en la sección	$\rho_{\text{maxsuministrada}} = 0.0247$
Momento nominal Y/o Resistencia probable	$M = 252.60 \text{ kN}$
Cortante máximo durante el evento sísmico	$V_u = 165.29 \text{ kN}$
Resistencia al cortante aportada por el acero transversal	$V_s = 92.84 \text{ kN}$
Separación por según $V_s$	$S_{vs(1/4'')} = 0.05 \text{ m}$
Separación por según $V_s$	$S_{vs(3/8'')} = 0.11 \text{ m}$

**Tabla 9.**

*Separaciones definitivas para carga gravitacional y cortante máximo.*

	<b>Cargas gravitacionales</b>	<b>Cortante máximo</b>
Zona de confinamiento	0.17 m	0.11 m
Zona no confinada	0.17 m	0.11 m

Con base en la tabla 9 donde se refleja la comparación entre el diseño por cargas gravitacionales y cortante máximos, se puede inferir que el efecto sísmico reduce considerablemente la distancia de separación de estribos, por lo que su implementación

garantiza estándares de seguridad más altos, toda vez que su consideración arroja como resultados estructuras sismo resistente.

## Conclusiones

Al determinar cada uno de los requerimientos establecidos en la NSR-10, se pudo establecer el estado del arte del desarrollo del software, por lo que se pudo dar cumplimiento al objetivo establecido en primera instancia, así mismo se pudo establecer los criterios normativos que garantizan el diseño sismo resistentes de vigas.

Se desarrolló un diagrama de flujo el cual permite observar de una forma gráfica el procedimiento para desarrollar el código de programación, mediante el cual se diseñó el programa, de una manera didáctica. De igual manera, muestra de forma clara los diferentes procesos que se realizan para obtener el diseño a flexión y cortante de vigas de hasta cinco tramos.

Mediante la comparación de unos de los ejercicios propuestos en el libro Estructuras de Concreto I de Jorge Ignacio Segura Franco, se pudo calibrar el aplicativo encontrando que los datos de salida arrojados por el mismo no poseen una varianza significativa que se debe a razón de que el libro trabaja aproximando datos, mientras la herramienta tecnológica utiliza todos los decimales admitidos por Excel, por lo que se puede concluir que el aplicativo es preciso en los datos de salida, lo cual permite generar confiabilidad a la hora de utilizar el aplicativo para futuros proyectos, pues los diseños serían óptimos, toda vez que el suministro de acero se realizaría bajo la consideración de una área necesaria precisa.

En el mismo sentido en un inicio se pretendía realizar comparación con algún ejercicio propuesto en el libro Hormigo Reforzado de Roberto Rochel Awad, pero a causa de que en dicha literatura se maneja el procedimiento de diseño con requerimientos desactualizados pertenecientes a la norma con versión antigua. Adicionalmente el aplicativo posee consideraciones más específicas teniendo en cuenta los requerimientos del Reglamento de Construcción Sismo Resistente Colombiano, como lo es el cortante plástico, y la separación del cortante según zona de amenaza sísmica.

Al realizar la calibración del aplicativo mediante la comparación de resultados, pudimos observar que este posee una mayor precisión para el cálculo de áreas de acero, observando que estas áreas de acero poseen un menor valor en el aplicativo, generando así que se disminuyan los costos a la hora de realizar un proyecto de diseño y así mismo disminuye las posibilidades de error.

Este aplicativo es de gran utilidad tanto para estudiantes de ingeniería civil, como para profesionales de la misma área, ya que explica y muestra de manera clara los procedimientos para el diseño a flexión y cortante del elemento estructural. Dicha herramienta también permite un mejor desarrollo al ingeniero civil en el campo laboral.

## Recomendaciones

Se debe tener presente lo mencionado en manual de usuario para realizar un correcto uso del aplicativo.

Para evitar confusión en el desarrollo de un problema se debe tener previo conocimiento del procedimiento de diseño estipulado en la literatura, para tener una mayor claridad en los datos a ingresar.

Se debe verificar constantemente que las alturas efectivas estén de acuerdo con el acero longitudinal suministrado, por lo que el ingeniero tendrá criterio de elección para el suministro de dicho acero y deberá tener presente esta recomendación.

## Referencias

Anto\_724 , Monografias.com. (2013, 15 abril). *Visual Basic - Monografias.com*.

Monografias.com. <https://www.monografias.com/trabajos10/visual/visual.shtml>

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento de Construcción Sismo Resistente, Título A*. Bogotá D.C, Colombia.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento de Construcción Sismo Resistente, Título C*. Bogotá D.C, Colombia.

Cañote. P.E. (2017, 20 de marzo). *Software para diseño de vigas de hormigón armado en pórticos especiales resistentes a momentos*. Universidad Católica Santiago de Guayaquil. Ecuador. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/7654>

Colaboradores de Wikipedia. (2021, 5 julio). *Microsoft Excel*. Wikipedia, la enciclopedia libre. [https://es.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Excel](https://es.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Excel)

De C.V., C. L. M. S. A. (2014, 5 agosto). *Aceros estructurales*. Maxiacero.  
<https://www.maxiacero.com/aceros-estructurales.php>

El congreso de Colombia. (1997, 19 de agosto). *Normas sobre construcciones sismo resistentes*.

[https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley\\_0400\\_1997.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0400_1997.pdf)

G. (2021, 24 marzo). *Concreto reforzado*. BECOSAN®.

<https://www.becosan.com/es/concreto-reforzado/>

Infaimon, S. L. (2018, 21 mayo). *Coeficiente de seguridad: toda una filosofía de diseño*.

[R]evolución artificial. <https://blog.infaimon.com/coeficiente-de-seguridad-filosofia-diseno/>

Nilson, A.H. (2001). *Diseño de estructuras en concreto*. <https://www.u->

[cursos.cl/usuario/7c1c0bd54f14c0722cefc0fa25ea186d/mi\\_blog/r/32988036-Nilson-Diseno-De-Estructuras-De-Concreto\\_\(1\).pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/7c1c0bd54f14c0722cefc0fa25ea186d/mi_blog/r/32988036-Nilson-Diseno-De-Estructuras-De-Concreto_(1).pdf)

Pardo, M. (2020, 29 octubre). *Cuantía – concepto y tipos de cuantía*. Marcelo Pardo

Ingeniería. <https://marcelopardo.com/cuantia-concepto-y-tipos/>

Possos, G.A. (2014). *Software educativo para el diseño de vigas isostáticas de concreto presforzado, usando programación en visual basic*. Universidad Santo Tomas.

Bogotá, Colombia.

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/708/Software%20educativo%20para%20el%20diseno%20de%20vigas%20isostaticas%20de%20concreto%20pre>



sforzado,%20usando%20programacion%20en%20visual%20basic.pdf?sequence=1  
&isAllowed=y

Reboredo, A. (2016). El diseño estructural. Editorial Nobuko. <https://elibro-net.sibdigital.ufps.edu.co/es/ereader/ufps/77427?page=11>

Ridell, R., & Hidalgo, P. (s. f.). (2021). *Diseño estructural*. Google Books.  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=VSntDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT8&dq=dise%C3%B1o+estructural&ots=SNmf47oyin&sig=4QLLSHH-vlOStf\\_7XkuEDkqHbXs#v=onepage&q=dise%C3%B1o%20estructural&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=VSntDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT8&dq=dise%C3%B1o+estructural&ots=SNmf47oyin&sig=4QLLSHH-vlOStf_7XkuEDkqHbXs#v=onepage&q=dise%C3%B1o%20estructural&f=false)

Segura, J. I. (2011). *Estructura de Concreto I* (7ª ed.).  
[https://www.academia.edu/33772976/\\_Estructuras\\_de\\_Concreto\\_I\\_Jorge\\_Segura\\_1](https://www.academia.edu/33772976/_Estructuras_de_Concreto_I_Jorge_Segura_1)

—

Softimiza, E. D. R. (2020, 22 septiembre). *Ley de licenciamiento de software en Colombia*. Softimiza. <https://softimiza.co/blog/ley-sobre-software-legal-en-colombia>

Wight, J.K., & MacGregor, J.G. (2011). *Reinforced Concrete Mechanics and Design*.  
<http://www.civilitree-hu.com/uploads/1/RC2/book6th.pdf>

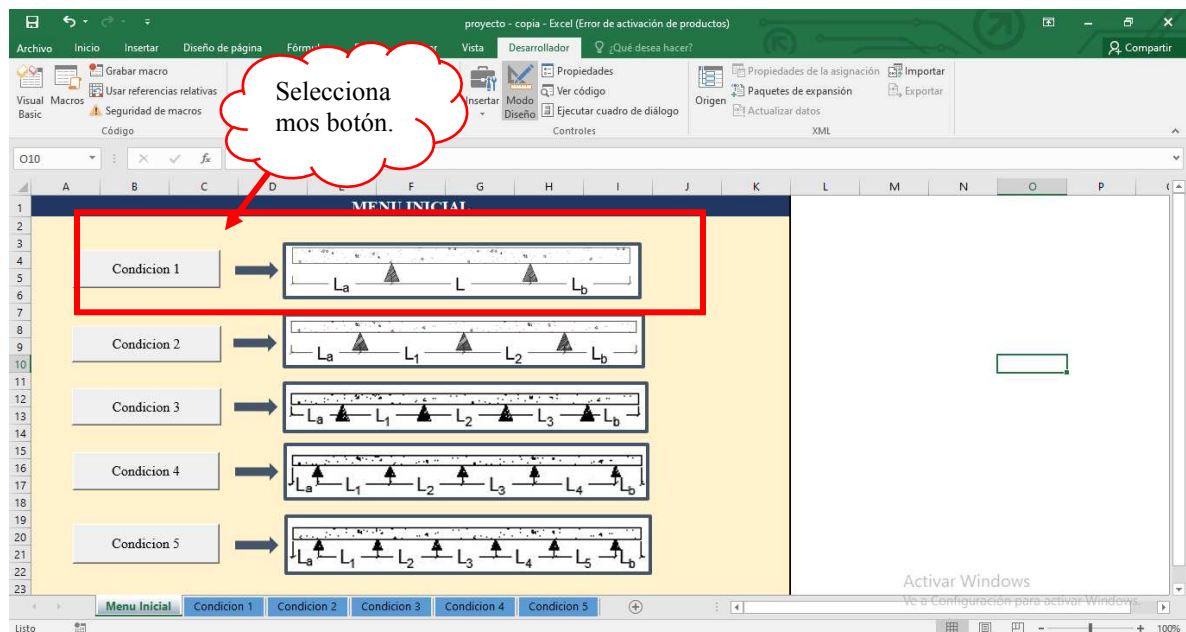
Yepes, V. (2017, 5 enero). *Breve introducción a los orígenes del hormigón armado*. Interempresas. Arquitectura y Construcción.

<https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/167016-Breve-introduccion-a-los-origenes-del-hormigon-armado.html>

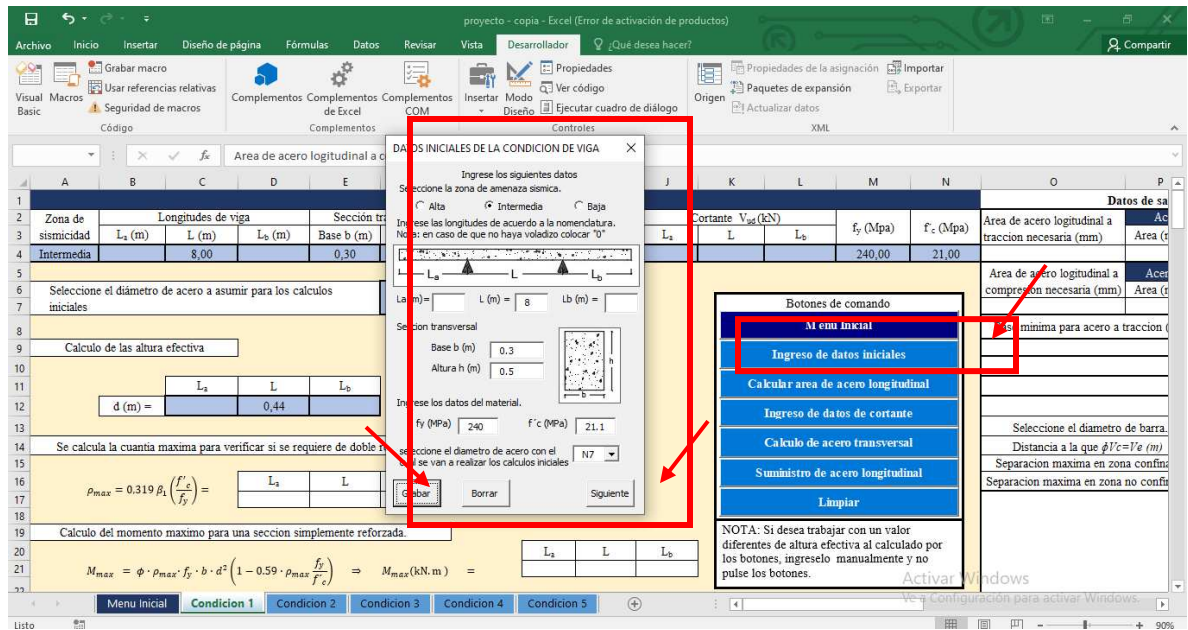
## Apéndice A

En el presente documento se mostrará de una manera más detallada los procesos que realiza el aplicativo para el diseño a flexión y cortante en vigas, con cinco tramos o menos, usando Excel soportado en Visual Basic, así como también los resultados obtenidos para el problema 2.12 de la página 78 del libro Estructura de Concreto I de Jorge Ignacio Segura Franco.

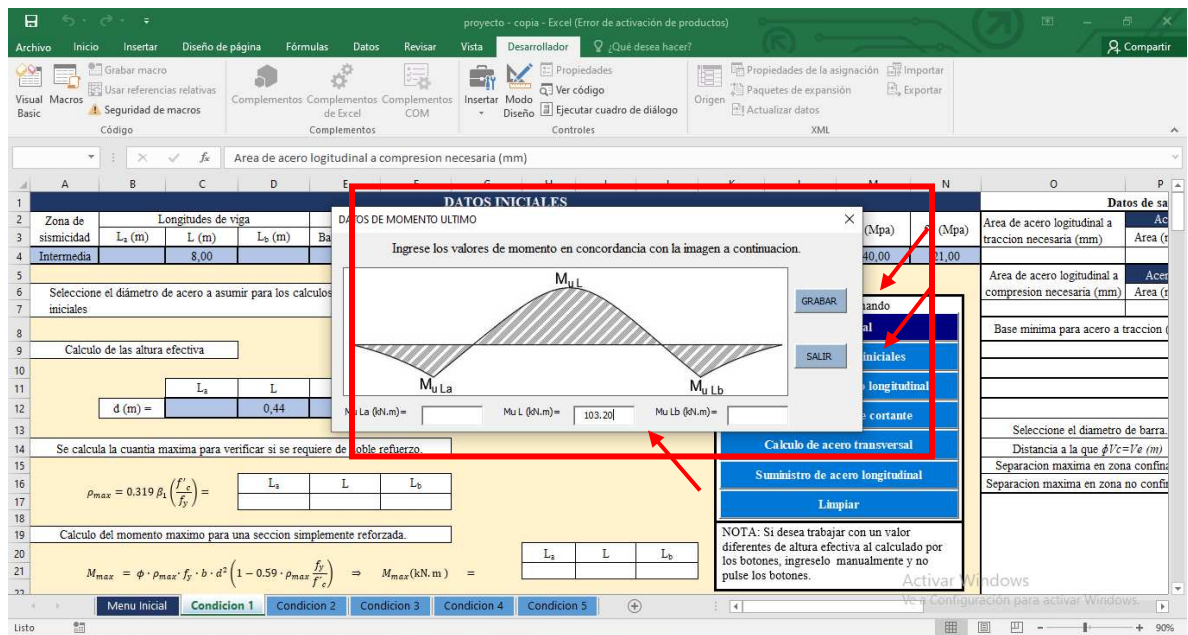
Nos ubicamos en el menú inicial para seleccionar la condición de apoyo según corresponda, para este caso seleccionamos la condición 1.



Procedemos a seleccionar el botón de ingreso de datos iniciales e introducimos en el formulario desplegado los datos solicitados, seleccionamos el botón grabar, verificamos los requerimientos de la norma en la ventana que se despliega al oprimir el botón anterior y seleccionamos siguiente.



Posteriormente despegara la ventana para introducir los datos de momento ultimo requerido en cada tramo de viga, introducimos el dato, seleccionamos grabar y salir.



Posteriormente seleccionamos el botón calculo de área de acero longitudinal.

proyecto - copia - Excel (Error de activación de productos)

Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Desarrollador

Visual Macros Basic

Grabar macro Usar referencias relativas Seguridad de macros Código

Complementos de Excel Complementos de COM

Insertar Modo Diseño Ejecutar cuadro de diálogo Controles

Propiedades Ver código

Propiedades de la asignación Paquetes de expansión Actualizar datos

XML

Area de acero longitudinal a compresion necesaria (mm)

DATOS INICIALES

Zona de sismicidad Longitudes de viga Sección transversal Momento ultimo  $M_u$  (kN.m) Cortante  $V_{ed}$  (kN)  $f_y$  (Mpa)  $f_c$  (Mpa)

Intermedia  $L_1$  (m)  $L$  (m)  $L_2$  (m) Base b (m) Altura h (m)  $L_{a1}$   $L$   $L_b$   $L_{a1}$   $L$   $L_b$  240,00 21,00

8,00 0,30 0,50 103,20

Seleccione el diámetro de acero a asumir para los calculos iniciales N7

Calculo de las altura efectiva

Calculo d una sola capa (m)

Calculo d doble capa (m)

d (m) =  $L_1$   $L$   $L_b$  0,44

Se calcula la cuantia maxima para verificar si se requiere de doble refuerzo.

$\rho_{max} = 0.319 \beta_1 \left( \frac{f'_c}{f_y} \right) =$   $L_1$   $L$   $L_b$

Calculo del momento maximo para una seccion simplemente reforzada.

$M_{max} = \phi \cdot \rho_{max} \cdot f_y \cdot b \cdot d^2 \left( 1 - 0.59 \cdot \rho_{max} \frac{f_y}{f'_c} \right) = M_{max}$  (kN.m) =  $L_1$   $L$   $L_b$

Botones de comando

Menu Inicial

Ingreso de datos manuales

Calcular area de acero longitudinal

Ingreso de datos de columna

Calculo de acero transversal

Suministro de acero longitudinal

Limpiar

NOTA: Si desea trabajar con un valor diferentes de altura efectiva al calculado por los botones, ingreso manualmente y no pulse los botones.

Activar Windows

Menu Inicial Condicion 1 Condicion 2 Condicion 3 Condicion 4 Condicion 5

luego podremos observar este dato en la sección de datos de salida, para este caso solo nos mostrara información en la longitud L ya que es la única existente.

proyecto - copia - Excel (Error de activación de productos)

Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Desarrollador

Visual Macros Basic

Grabar macro Usar referencias relativas Seguridad de macros Código

Complementos de Excel Complementos de COM

Insertar Modo Diseño Ejecutar cuadro de diálogo Controles

Propiedades Ver código

Propiedades de la asignación Paquetes de expansión Actualizar datos

XML

Area de acero longitudinal a compresion necesaria (mm)

Datos de salida  $L_1$

$f_c$  (Mpa) Area de acero longitudinal a traccion necesaria (mm) Acero a traccion suministrado Area (mm) Nomenclatura Area de acero longitudinal a traccion necesaria (mm) Acero a traccion suministrado Area (mm) Nomenclatura Area de acero longitudinal a traccion necesaria (mm) Acero a traccion suministrado Area (mm) Nomenclatura

21,00 ----- 1155,66 -----

Area de acero longitudinal a compresion necesaria (mm) Acero a compresion suministrado Area (mm) Nomenclatura Area de acero longitudinal a compresion necesaria (mm) Acero a compresion suministrado Area (mm) Nomenclatura

-----

Base minima para acero a traccion (m) Base minima para acero a traccion (m) Base minima para acero a traccion (m)

Datos de salida de cortante, incluye el efecto sísmico

$L_1$   $L_1$   $L_b$

Seleccione el diámetro de barra. 3/8 3/8 3/8

Distancia a la que  $\phi'c = l'e$  (m)

Separacion maxima en zona confinada

Separacion maxima en zona no confinada

Activar Windows

Menu Inicial Condicion 1 Condicion 2 Condicion 3 Condicion 4 Condicion 5

Para observar una consideración de suministro de acero propuesta por el aplicativo seleccionamos el botón suministro de acero longitudinal y nos mostrara un posible suministro, que también puede ser modificado según el criterio del usuario.

proyecto - copia - Excel (Error de activación de productos)

Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Desarrollador ¿Qué desea hacer? Compartir

Visual Basic Macros Seguridad de macros Código

Complementos de Excel COM

Insertar Modo Diseño Ejecutar cuadro de diálogo Controles

Propiedades Ver código

Propiedades de la asignación Paquetes de expansión Actualizar datos XML

Area de acero logitudinal a compresion necesaria (mm)

N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR
1		<b>Datos de salida L<sub>2</sub></b>						<b>Datos de salida L<sub>1</sub></b>						<b>Datos de salida L<sub>3</sub></b>																
2	f <sub>c</sub> (Mpa)	Area de acero logitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado	Area (mm)	Nomenclatura	Area de acero logitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado	Area (mm)	Nomenclatura	Area de acero logitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado	Area (mm)	Nomenclatura	Area de acero logitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado	Area (mm)	Nomenclatura	Area de acero logitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado	Area (mm)	Nomenclatura	Area de acero logitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado	Area (mm)	Nomenclatura	Area de acero logitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado	Area (mm)	Nomenclatura	
3																														
4	21,00					1155,66						2	N7	1	N7															
5		Area de acero logitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado	Area (mm)	Nomenclatura	Area de acero logitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado	Area (mm)	Nomenclatura	Area de acero logitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado	Area (mm)	Nomenclatura	Area de acero logitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado	Area (mm)	Nomenclatura	Area de acero logitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado	Area (mm)	Nomenclatura	Area de acero logitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado	Area (mm)	Nomenclatura	Area de acero logitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado	Area (mm)	Nomenclatura	
6												2	N4																	
7																														
8		Base minima para acero a traccion (m)				Base minima para acero a traccion (m)				0,22				Base minima para acero a traccion (m)																
9		UNA CAPA DE ACERO					UNA CAPA DE ACERO					UNA CAPA DE ACERO																		
10		<b>Datos de salida de cortante, incluye el efecto sísmico</b>																												
11																														
12																														
13		Seleccione el diametro de barra.				3/8				3/8				3/8																
14		Distancia a la que $\phi'c = f'e$ (m)																												
15		Separacion maxima en zona confinada																												
16		Separacion maxima en zona no confinada																												
17																														
18																														
19																														
20																														
21																														
22																														
23																														

Activar Windows  
Ver Configuración para activar Windows.

Menu Inicial Condicion 1 Condicion 2 Condicion 3 Condicion 4 Condicion 5

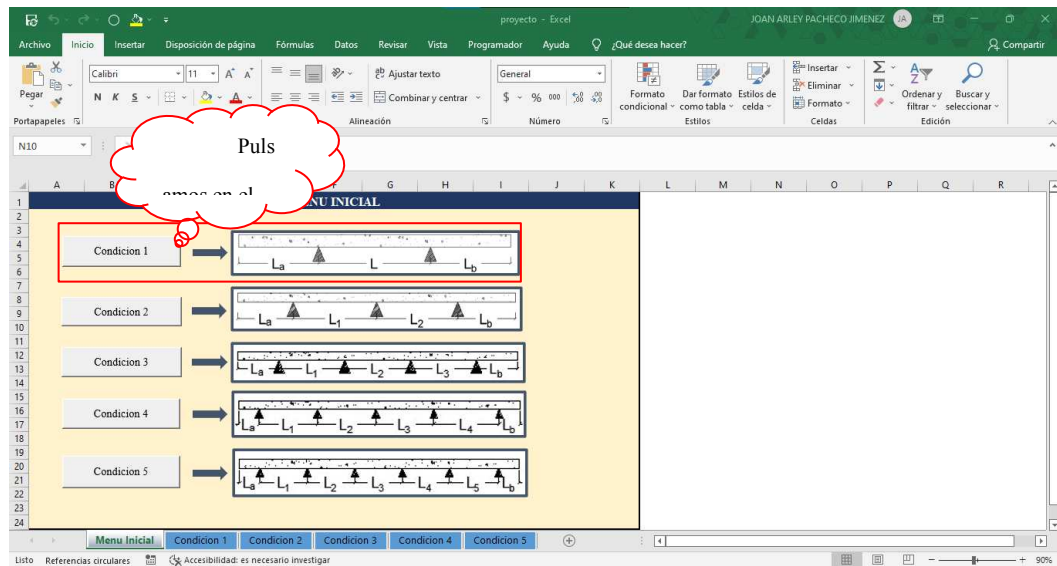
Listo

Como podemos observar, se muestra un suministro de acero para compresión y tracción, debido a que tiene en cuenta las consideraciones mínimas estipuladas en el Reglamento de Construcción Sismo Resistente Colombiano.

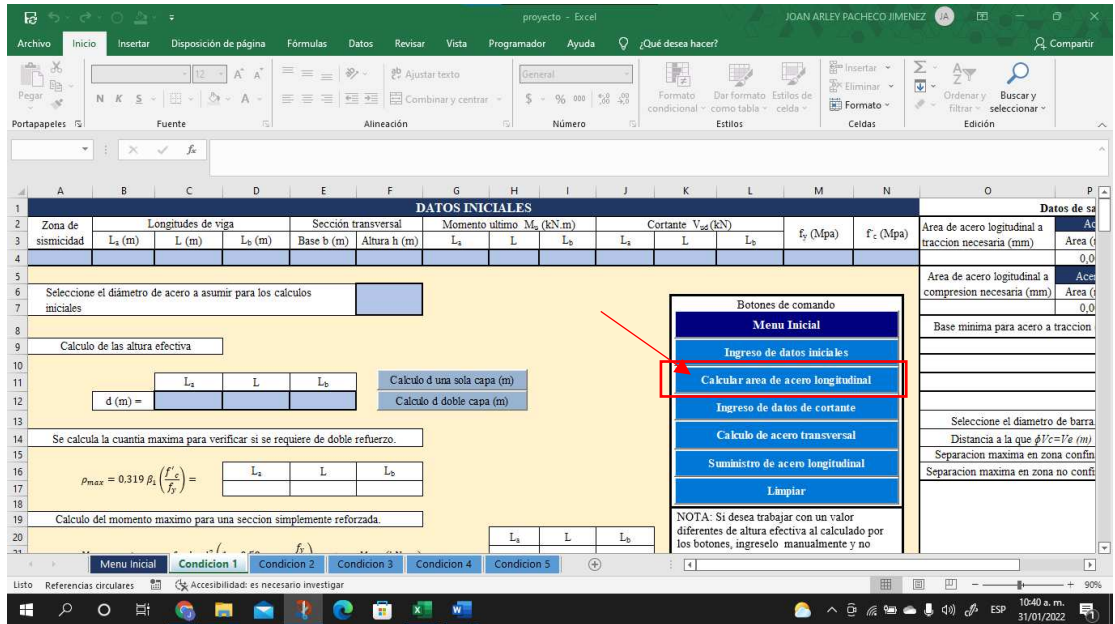
## Apéndice B

En el presente documento se mostrará de una manera más detallada los procesos que realiza el aplicativo para el diseño a flexión y cortante en vigas, con cinco tramos o menos, usando Excel soportado en Visual Basic, así como también los resultados obtenidos para el problema 2.16 de la página 90 del libro Estructura de Concreto I de Jorge Ignacio Segura Franco.

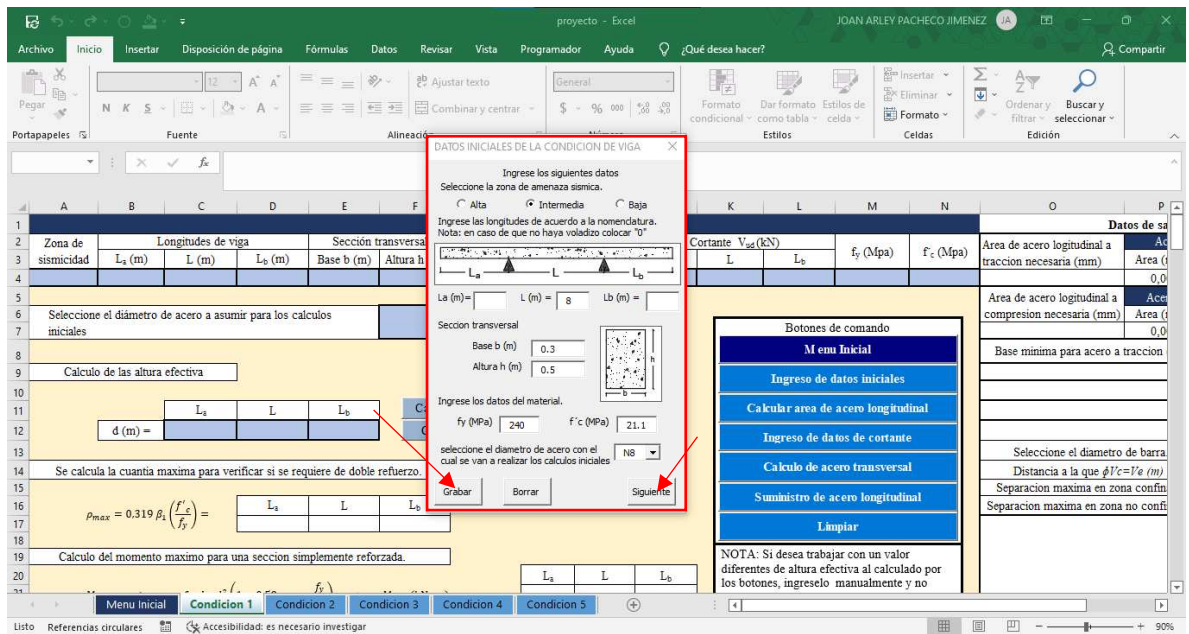
Nos ubicamos en el menú inicial para seleccionar la condición de apoyo según corresponda



Una vez seleccionada la condición de apoyo (Condición 1) nos aparece la siguiente ventana en la que se procederá a realizar el diseño a flexión y cortante de la viga ingresada



Así mismo procedemos a pulsar el botón que se nos muestra en la imagen inmediatamente anterior, surgiendo la siguiente ventana, la cual diligenciaremos tal como se nos muestra a continuación.

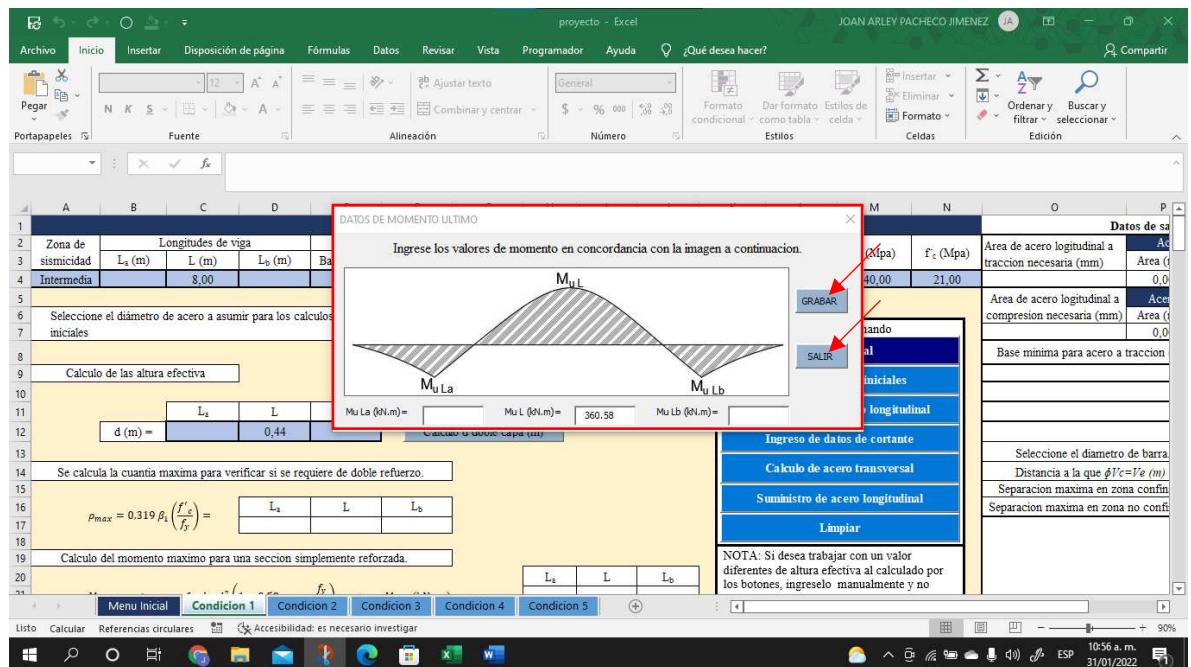


Luego de ingresar los datos se procede a pulsar el botón **Grabar**, para lo que se nos aparece un cuadro de dialogo en el que se nos informa que si deseamos verificar la sección



transversal ingresada con los criterios de la NSR-10, tal como se nos muestra en el manual de usuario, ver anexo 4.

A la ventana emergente se le pulsaremos en el botón **NO**, toda vez que para el ejercicio ya se tiene unos parámetros definidos, una vez se nos desaparezca el cuadro mostrado, procedemos a pulsar el botón **Siguiente**, con lo que se nos mostrara la siguiente ventana



En la ventana mostrada se procede a ingresar el siguiente dato, una vez diligenciado procedemos a pulsar el botón Grabar, tal como se indica en la imagen anterior, luego se presiona el botón **Salir**.

Una vez realizado todo lo anterior, verificamos que los datos ingresados se hayan guardado en las celdas correspondientes. Como se evidencia a continuación.

DATOS INICIALES													
Zona de sismicidad	Longitudes de viga			Sección transversal		Momento ultimo $M_u$ (kN.m)			Cortante $V_{ed}$ (kN)			$f_y$ (Mpa)	$f_c$ (Mpa)
	$L_a$ (m)	$L$ (m)	$L_b$ (m)	Base b (m)	Altura h (m)	$L_a$	$L$	$L_b$	$L_a$	$L$	$L_b$		
Intermedia		8,00		0,30	0,50							240,00	21,00

Seleccione el diámetro de acero a asumir para los calculos iniciales

Calculo de las altura efectiva

$d$ (m) =	$L_a$	$L$	$L_b$
		0,44	

Calculo d una sola capa (m)

Calculo d doble capa (m)

Botones de comando

Menu Inicial

Ingreso de datos iniciales

Calcular area de acero longitudinal

Ingreso de datos de cortante

Calculo de acero transversal

Suministro de acero longitudinal

Limpiar

Una vez que se compruebe que los datos ingresados se han guardado de forma correcta, procedemos a pulsar el botón **Calcular de área de acero longitudinal**, que se encuentra en el recuadro botones de comando, mostrado a continuación.

Botones de comando

Menu Inicial

Ingreso de datos iniciales

Calcular area de acero longitudinal

Ingreso de datos de cortante

Calculo de acero transversal

Suministro de acero longitudinal

Limpiar

NOTA: Si desea trabajar con un valor diferentes de altura efectiva al calculado por los botones, ingreselo manualmente y no pulse los botones.

Con lo anterior se nos calcula el área necesaria para resistir el momento actuante en la sección, a continuación, se muestra el procedimiento realizado.

PROCEDIMIENTO DISEÑO SECCION DOBLEMENTE REFORZADA															
Calculo de d'	Calculo d' (m)														
Seleccione el diametro a asumir = $d'(m) = rec + \phi_\epsilon + \frac{\phi_{asumido}}{2} \Rightarrow$	=	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 33%;">L<sub>a</sub></th> <th style="width: 33%;">L</th> <th style="width: 33%;">L<sub>b</sub></th> </tr> <tr> <td>N7</td> <td>N8</td> <td>N7</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0,062</td> <td></td> </tr> </table>	L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>	N7	N8	N7		0,062		⇒			
L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>													
N7	N8	N7													
	0,062														
Calculo del delta de momento															
$\Delta M = M_{u_i} - M_{m\acute{a}x}$															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 33%;">L<sub>a</sub></th> <th style="width: 33%;">L</th> <th style="width: 33%;">L<sub>b</sub></th> </tr> <tr> <td><math>\Delta M =</math></td> <td>113,05</td> <td></td> </tr> </table>	L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>	$\Delta M =$	113,05										
L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>													
$\Delta M =$	113,05														
<b>Armadura a traccion.</b>															
$A_s = \rho_{m\acute{a}x_i} \cdot b \cdot d + \frac{\Delta M}{\phi \cdot f_y \cdot (d-d')}$															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 33%;">L<sub>a</sub></th> <th style="width: 33%;">L</th> <th style="width: 33%;">L<sub>b</sub></th> </tr> <tr> <td>A<sub>s</sub> =</td> <td>4509,53</td> <td></td> </tr> </table>	L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>	A <sub>s</sub> =	4509,53										
L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>													
A <sub>s</sub> =	4509,53														
Si el acero que se debe colocar no cabe en una capa se debe corregir la altura efectiva (d) en la parte superior.															
calculo de f' <sub>y</sub>															
$f'_y = f_y - 0,85 f_c =$ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">222,15</span>															
<b>Armadura a compresion.</b>															
$A_s = \frac{\Delta M}{\phi \cdot f'_y \cdot (d-d')}$															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 33%;">L<sub>a</sub></th> <th style="width: 33%;">L</th> <th style="width: 33%;">L<sub>b</sub></th> </tr> <tr> <td>A<sub>s</sub> =</td> <td>1505,36</td> <td></td> </tr> </table>	L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>	A <sub>s</sub> =	1505,36										
L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>													
A <sub>s</sub> =	1505,36														
Revison de cumplimiento de rango de cuantia.															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 33%;">L<sub>a</sub></th> <th style="width: 33%;">L</th> <th style="width: 33%;">L<sub>b</sub></th> </tr> <tr> <td><math>(\rho - \rho')_{min} =</math></td> <td>0,01497</td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>(\rho - \rho') =</math></td> <td>0,02287</td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>(\rho - \rho')_{max} =</math></td> <td>0,02373</td> <td></td> </tr> </table>	L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>	$(\rho - \rho')_{min} =$	0,01497		$(\rho - \rho') =$	0,02287		$(\rho - \rho')_{max} =$	0,02373				
L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>													
$(\rho - \rho')_{min} =$	0,01497														
$(\rho - \rho') =$	0,02287														
$(\rho - \rho')_{max} =$	0,02373														

Luego procedemos a pulsar el botón **Suministro de de acero longitudinal** como se muestra continuación.

Botones de comando	
Menu Inicial	
Ingreso de datos iniciales	
Calcular area de acero longitudinal	
Ingreso de datos de cortante	
Calculo de acero transversal	
Suministro de acero longitudinal	
Limpiar	

NOTA: Si desea trabajar con un valor diferentes de altura efectiva al calculado por los botones, ingreselo manualmente y no pulse los botones.

Luego nos da una opción de combinación de acero, pero a razón de la gran cantidad de área necesaria a tracción el, el aplicativo da la opción de que el usuario ingrese la combinación de acero a suministrar

Datos de salida L <sub>2</sub>			Datos de salida L			Datos de salida L <sub>3</sub>		
Area de acero logitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado		Area de acero logitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado		Area de acero logitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado	
	Area (mm)	Nomenclatura		Area (mm)	Nomenclatura		Area (mm)	Nomenclatura
0,00			4509,53	5100,00	10 N8	0,00		
Area de acero logitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado		Area de acero logitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado		Area de acero logitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado	
-----	Area (mm)	Nomenclatura		Area (mm)	Nomenclatura		Area (mm)	Nomenclatura
0,00			1505,36	1523,00	2 N6 2 N6 1 N7	0,00		
Base minima para acero a traccion (m)			Base minima para acero a traccion (m)			Base minima para acero a traccion (m)		
UNA CAPA DE ACERO			UNA CAPA DE ACERO			UNA CAPA DE ACERO		

A razón de que la combinación ingresada no cabe en una sola capa de acero, se procede a realizar el cálculo de  $d$  para doble capa, haciendo clic en el botón **Calculo d doble capa (m)**.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following content:

- Row 4:** Intermedia, 8,00, 0,30, 0,50, 360,58, 240,00, 21,00, 0,0
- Row 6:** Selección del diámetro de acero a asumir para los calculos iniciales: N8
- Row 9:** Cálculo de las altura efectiva
- Row 11:**  $d(m) = \frac{L_1 + L + L_b}{4}$  (with  $L = 0,44$ )
- Row 14:** Se calcula la cuantía máxima para verificar si se requiere de doble refuerzo.
- Row 16:**  $\rho_{max} = 0,319 \beta_1 \left( \frac{f'_c}{f_y} \right) = \frac{L_1 + L + L_b}{0,0237}$
- Row 19:** Cálculo del momento máximo para una sección simplemente reforzada.
- Row 21:**  $M_{max} = \phi \cdot \rho_{max} \cdot f_y \cdot b \cdot d^2 \left( 1 - 0,59 \cdot \rho_{max} \frac{f_y}{f'_c} \right) \Rightarrow M_{max} (kN.m) = \frac{L_1 + L + L_b}{247,534}$
- Row 23:** Verificación de momentos frente al momento máximo

**Botones de comando:**

- M em Inicial
- Ingreso de datos iniciales
- Calcular area de acero longitudinal
- Ingreso de datos de cortante
- Calculo de acero transversal
- Suministro de acero longitudinal
- Limpia

**NOTA:** Si desea trabajar con un valor diferentes de altura efectiva al calculado por los botones, ingreso manualmente y no pulse los botones.

Procedemos a diligenciar la ventana emergente de la siguiente forma y pulsamos los botones **Calcular y grabar** y **Salir**.

The UserForm4 dialog box contains the following elements:

- Diagram:** A cross-section of a reinforced concrete beam showing top and bottom reinforcement bars. Labels: "Acero superior" and "Acero inferior".
- Text:** "Selecciones la luz a la que le va a calcular el d (m)"
- Diagram:** A beam diagram with dimensions  $L_a$ ,  $L$ , and  $L_b$ .
- Radio Buttons:**   $L_a$ ,   $L$ ,   $L_b$
- Input Fields:**
  - Diametro máximo en la capa de acero superior: N8
  - Diametro máximo en la capa de acero inferior: N8
  - Area total capa superior de acero (mm2): 2550
  - Area total capa inferior de acero (mm2): 2550
- Buttons:** "Calcular y Grabar" and "Salir" (highlighted with a red box).

Dándonos el siguiente resultado.

Calculo de las altura efectiva			
	$L_a$	$L$	$L_b$
$d$ (m) =		0,41	

Calculo d una sola capa (m)

Calculo d doble capa (m)

Luego procedemos a pulsar nuevamente los botones de Calcular área de acero longitudinal, y suministro de acero, dándonos los siguientes resultados.

Datos de salida $L_a$			Datos de salida $L$			Datos de salida $L_b$		
Area de acero longitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado		Area de acero longitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado		Area de acero longitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado	
	Area (mm)	Nomenclatura		Area (mm)	Nomenclatura		Area (mm)	Nomenclatura
	0,00		4798,50	5100,00	10 N8		0,00	
Area de acero longitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado		Area de acero longitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado		Area de acero longitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado	
	Area (mm)	Nomenclatura		Area (mm)	Nomenclatura		Area (mm)	Nomenclatura
	0,00		2012,87	2040,00	2 N8	2 N8	0,00	
Base minima para acero a traccion (m)			Base minima para acero a traccion (m)			Base minima para acero a traccion (m)		
UNA CAPA DE ACERO			UNA CAPA DE ACERO			UNA CAPA DE ACERO		

### PROCEDIMIENTO DISEÑO SECCION DOBLEMENTE REFORZADA

Calculo de d'      **Calculo d' (m)**

Selecione el diametro a asumir =  
 $d'(m) = rec + \phi_e + \frac{\phi_{asumido}}{2} \Rightarrow$

L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>
N7	N8	N7
	0,062	

Calculo del delta de momento

$$\Delta M = M_{u_i} - M_{m\acute{a}x}$$

	L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>
$\Delta M =$		140,94	

**Armadura a traccion.**

$$A_s = \rho_{m\acute{a}x_i} \cdot b \cdot d + \frac{\Delta M}{\phi \cdot f_y \cdot (d-d')}$$

	L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>
$A_s =$		4798,50	

Si el acero que se debe colocar no cabe en una capa se debe corregir la altura efectiva (d) en la parte superior.

calculo de  $f'_y$

$$f'_y = f_y - 0,85 f_c = \quad 222,15$$

**Armadura a compresion.**

$$A_s = \frac{\Delta M}{\phi \cdot f'_y \cdot (d-d')}$$

	L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>
$A_s =$		2012,87	

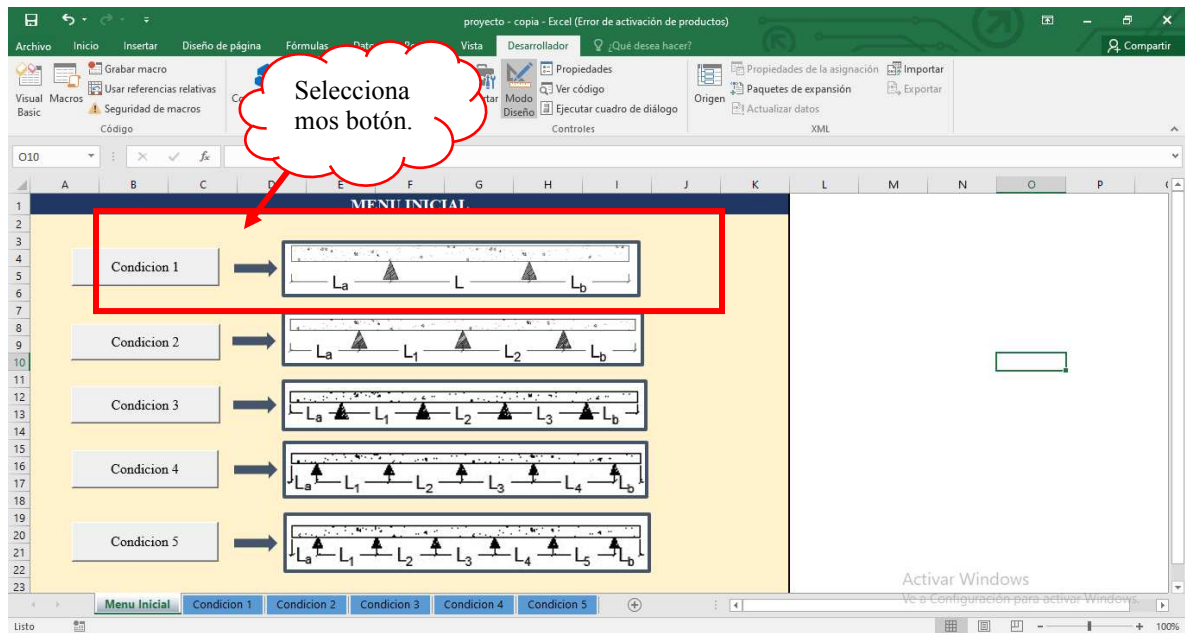
Revision de cumplimiento de rango de cuantia.

	L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>
$(\rho - \rho')_{min} =$		0,01589	
$(\rho - \rho') =$		0,02252	
$(\rho - \rho')_{max} =$		0,02373	

## Apéndice C

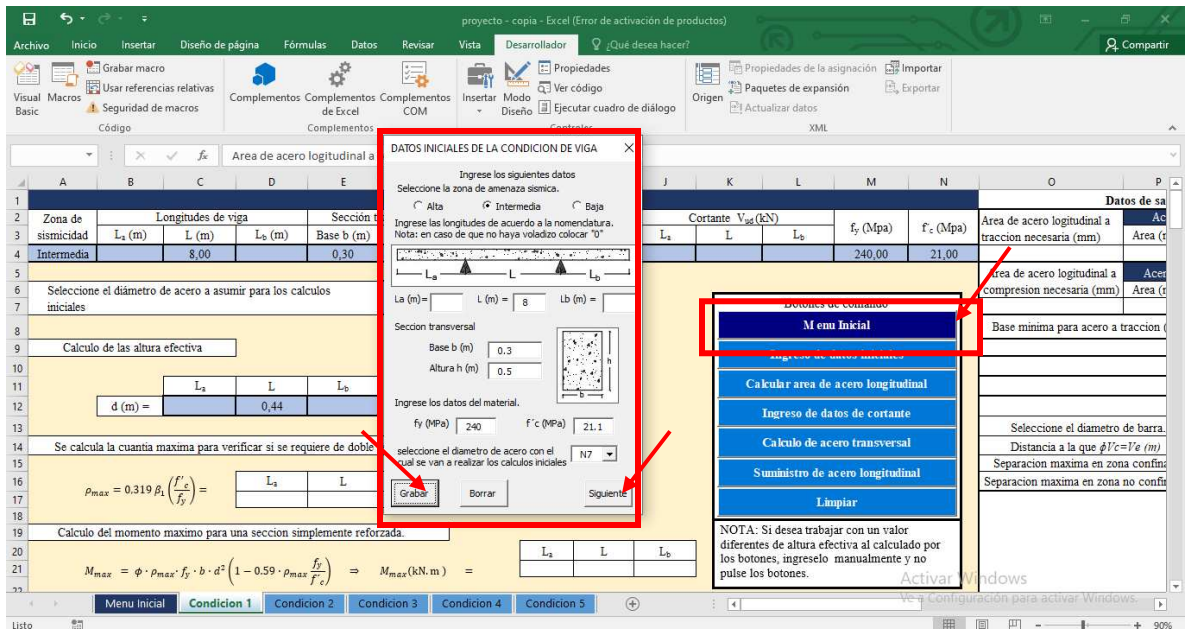
En el presente documento se mostrará de una manera más detallada los procesos que realiza el aplicativo para el diseño a flexión y cortante en vigas, con cinco tramos o menos, usando Excel soportado en Visual Basic, así como también los resultados obtenidos para el problema 3.1 de la página 144 del libro Estructura de Concreto I de Jorge Ignacio Segura Franco.

Nos ubicamos en el menú inicial para seleccionar la condición de apoyo según corresponda, para este caso seleccionamos la condición 1.

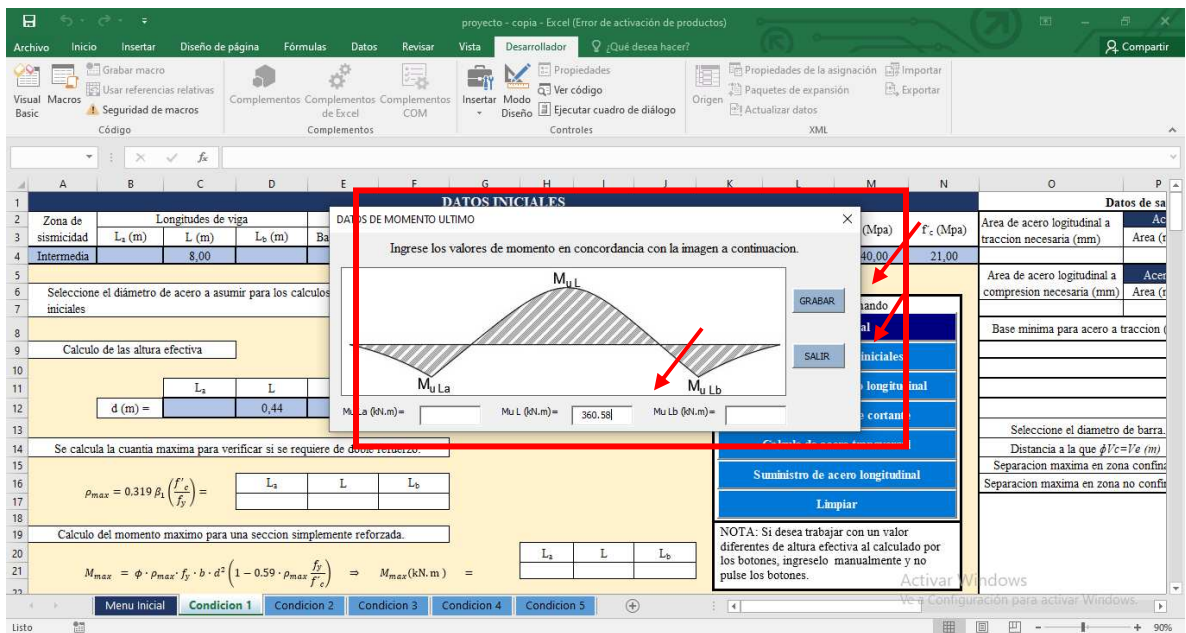


Procedemos a seleccionar el botón de ingreso de datos iniciales e introducimos en el formulario desplegado los datos solicitados, seleccionamos el botón grabar, verificamos los requerimientos de la norma en la ventana que se despliega al oprimir el botón anterior y seleccionamos siguiente.





En la siguiente ventana desplegada se deberá introducir el dato de momento ultimo seleccionamos grabar y salir.



Debido a que en el libro se desarrolló el mismo ejercicio en una sección anterior y tienen en cuenta que el acero a compresión fue suministrado en doble capa, procedemos a calcular este dato de forma manual seleccionando el botón calculo d doble capa de acero.

Se desplegará una ventana en la cual deberemos introducir los datos de acero longitudinal obtenidos anteriormente, seleccionamos la opción guardar y grabar y posteriormente salir.

Use Form4

Seleccione la luz a la que le va a calcular el  $d$  (m)

Diagrama de la sección transversal con refuerzo superior e inferior.

Diametro maximo en la capa de acero superior: N8

Diametro maximo en la capa de acero inferior: N8

Area total capa superior de acero (mm2): 2550

Area total capa inferior de acero (mm2): 2550

Calcular y Grabar

Salir

NOTA: Si desea trabajar con un valor diferentes de altura efectiva al calculado por los botones, ingreselo manualmente y no pulse los botones.

Posteriormente seleccionamos la opción ingresar datos de cortante en la cual introduciremos los datos solicitados, seleccionamos grabar y salir.

DATOS DE CORTANTE ULTIMO A UNA DISTANCIA  $d$  DE LA CARA DEL APOYO

Ingrese el valor del cortante a una distancia " $d$ " de la cara del apoyo de cada tramo de la viga. No se considera que el cortante tiene un comportamiento simétrico en cada tramo de viga, es decir, que el punto en el cual el cortante es cero corresponde al mitad de la luz libre del tramo. En los casos donde se presente dos valores diferentes de cortante en un mismo tramo tomar el valor mayor entre los dos.

Diagrama de la fuerza cortante  $V_{ud}$  a lo largo de la longitud  $L$  de la viga.

$d$  (m) = 0,412

$V_{ud} L_a$  (kN) =

$V_{ud} L$  (kN) = 133,72

$V_{ud} L_b$  (kN) =

GRABAR

SALIR

Botones de comando

- Menu Inicial
- Ingreso de datos iniciales
- Calcular area de acero longitudinal
- Ingreso de datos de cortante
- Calculo de acero transversal
- Suministro de acero longitudinal
- Limpiar

NOTA: Si desea trabajar con un valor diferentes de altura efectiva al calculado por los botones, ingreselo manualmente y no pulse los botones.

Posteriormente seleccionamos el botón cálculo de acero transversal, en el cual nos mostrara una ventana para solicitar el dato de ancho de la columna, en el mismo se realiza una nota aclaratoria para ingresar el dato correcto.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a macro interface. The spreadsheet has columns for 'Zona de sismicidad', 'Longitudes de viga', 'Sección transversal', 'Momento ultimo', 'Cortante', 'fy', and 'fc'. A dialog box titled 'Ancho de columna' is open, asking for the column width 'C1'. A 'Botones de comando' panel is visible on the right with buttons for 'Menu Inicial', 'Ingreso de datos iniciales', 'Calcular area de acero longitudinal', 'Ingreso de datos de cortante', 'Calculo de acero transversal', 'Suministro de acero longitudinal', and 'Limpiar'. The 'Calculo de acero transversal' button is highlighted with a red arrow.

Automáticamente el aplicativo desarrollara los diferentes procesos para calcular la separación a la cual debe establecerse el cortante en zona confinada y no confinada, en a parte inferior de la hoja de cálculo en la sección cálculo de cortante podremos observar de manera detalla cada uno de los datos obtenidos mediante el aplicativo, como se muestra a continuación.

CORTANTE CON FUERZAS GRAVITATORIAS							
Resistencia del concreto al cortante							
	$L_a$	L	$L_b$				
$\phi V_c (kN) =$		72,29					
		$V_c < V_{ud}$					
$\phi V_s (kN) =$		61,43					
Separacion de estribos por cortante con estribos de dos ramas							
$s = \frac{\phi A_v \cdot f_y \cdot d}{\phi V_s}$							
	$L_a$	L	$L_b$				
Estribo de 1/4" S(m) =		0,08					
Estribo de 3/8" S(m) =		0,17					
Estribo de 1/2" S(m) =		0,31					
Separacion de estribos por area minima de refuerzo trasversal por norma							
Estribo de 1/4"	$S_{max} = \frac{A_v \cdot f_y}{0.062 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w} =$		$S_{Max}$ 0,18				
	$S_{max} = \frac{A_v \cdot f_y}{0.35 \cdot b_w} =$		$S_{Max}$ 0,15				
Estribo de 3/8"	$S_{max} = \frac{A_v \cdot f_y}{0.062 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w} =$		$S_{Max}$ 0,36				
	$S_{max} = \frac{A_v \cdot f_y}{0.35 \cdot b_w} =$		$S_{Max}$ 0,3				
Estribo de 1/2"	$S_{max} = \frac{A_v \cdot f_y}{0.062 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w} =$		$S_{Max}$ 0,72				
	$S_{max} = \frac{A_v \cdot f_y}{0.35 \cdot b_w} =$		$S_{Max}$ 0,6				
Separacion según NSR-10							
C.21	S(m)			C.11	S(m)		
	$L_a$	L	$L_b$		$L_a$	L	$L_b$
$\frac{d}{4}$		0,10		$\frac{d}{2}$		0,21	
8(D. barra)		8		600 mm	0,6		
$24\phi_{\xi} 1/4"$	0,15			Zona no confinada			
$24\phi_{\xi} 3/8"$	0,23						
$24\phi_{\xi} 1/2"$	0,31						
300 (mm)	0,3						
Zona confinada							
longitud zona confinada $2h (m) =$				1			
	$L_a$	L	$L_b$				
Seleccione el diametro de barra.				1/4	1/4	1/4	
Distancia a la que $\phi V_c = V_{ud} (m) =$				NO APLICA	2,13	NO APLICA	
Separacion maxima en zona confinada					0,08		
Separacion maxima en zona no confinada					0,09		

## CORTANTE CON EL EFECTO DE PLASTICIDAD

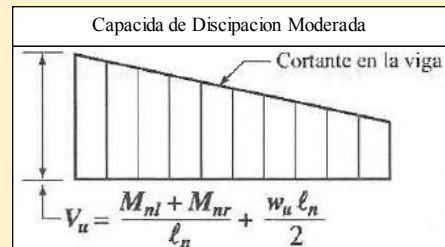
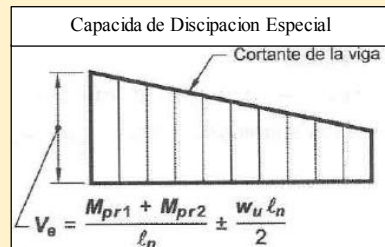
Calculo de los momentos por accion de vigas

Para calculo de los momentos se deben aplicar las siguientes ecuaciones según sea la zona de sismicidad en la que se vaya hacer el diseño

Zona de sismicida	Ecuacion
Minima	No Aplica
Intermedia	$M_n = \rho \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y \cdot \left(1 - 0.59 \cdot \rho \cdot \frac{f_y}{f'_c}\right)$
Alta	$M_{pr} = \phi \cdot \rho \cdot b \cdot d^2 \cdot 1.25 \cdot f_y \cdot \left(1 - 0.59 \cdot \rho \cdot \frac{1.25 \cdot f_y}{f'_c}\right)$

	I <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>
$\rho$ max suministrada=		0,0225	
M (kN.m) =	NO APLICA	233,85	NO APLICA

Calculo del cortante maximo de diseño (V<sub>c</sub>)



	I <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>
V <sub>c</sub> (kN) =		162,95	
$\phi V_c$ (kN) =		72,29	
$\phi V_s$ (kN) =		90,66	

Separacion de estribos por cortante con estribos de dos ramas

$$s = \frac{\phi A_v \cdot f_y \cdot d}{\phi V_s}$$

	I <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>
Estribo de 1/4" S(m) =		0,05	
Estribo de 3/8" S(m) =		0,12	
Estribo de 1/2" S(m) =		0,21	

Cuadro resumen separaciones por norma

	I <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>
Seleccione el diametro de barra.	3/8	3/8	3/8
Distancia a la que $\phi V_c = V_e$ (m) =	NO APLICA	2,46	NO APLICA
Separacion maxima en zona confinada		0,1	
Separacion maxima en zona no confinada		0,17	

De igual forma podremos observar los datos definitivos a utilizar para separación de acero transversal en la sección de datos de salida de la hoja de caculo.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data tables:

Datos de salida L <sub>2</sub>			Datos de salida L <sub>1</sub>			Datos de salida L <sub>3</sub>		
f <sub>c</sub> (Mpa)	Area de acero logitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado	Area de acero logitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado	Area de acero logitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado	Area de acero logitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado
21,00	Area (mm)	Nomenclatura	4798,50	Area (mm)	Area (mm)	Nomenclatura	Area (mm)	Area (mm)
	Area de acero logitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado	Area de acero logitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado	Area de acero logitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado	Area de acero logitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado
	Area (mm)	Area (mm)	2012,87	Area (mm)	Area (mm)	Nomenclatura	Area (mm)	Area (mm)
	Base minima para acero a traccion (m)		Base minima para acero a traccion (m)		Base minima para acero a traccion (m)		Base minima para acero a traccion (m)	
	UNA CAPA DE ACERO		UNA CAPA DE ACERO		UNA CAPA DE ACERO		UNA CAPA DE ACERO	

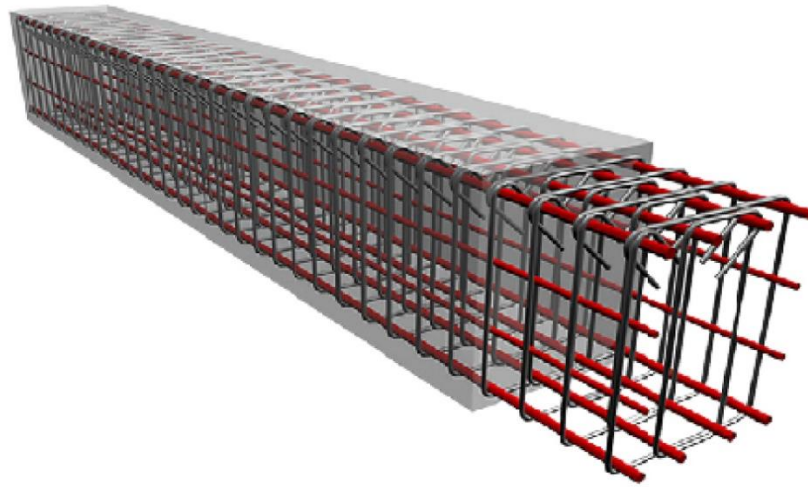
Datos de salida de cortante, incluye el efecto sísmico			
	L <sub>2</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>3</sub>
Seleccione el diametro de barra.	3/8	3/8	3/8
Distancia a la que $\phi'c=V_e$ (m)	NO APLICA	2,46	NO APLICA
Separacion maxima en zona confinada		0,10	
Separacion maxima en zona no confinada		0,17	

Se debe tener presente que el usuario tendrá la opción de elegir el suministro de acero transversal y así calcular cada una de las separaciones según corresponda el diámetro del mismo.

## **Apéndice D**

Desarrollar un manual de usuario para el correcto uso e interpretación de resultados del aplicativo.

**MANUAL DE USUARIO PARA EL APLICATIVO PARA EL  
DISEÑO A FLEXIÓN Y CORTANTE EN VIGAS, CON CINCO  
TRAMOS O MENOS, USANDO EXCEL SOPORTADO EN VISUAL  
BASIC**





## Índice

1.	Introducción .....	97
2.	Objetivo .....	97
3.	Acceso al aplicativo .....	98
4.	Normatividad.....	98
5.	Iniciación al uso del sistema.....	98
6.	Manual de referencia.....	107
7.	Glosario .....	126

## **1. Introducción**

En busca de reducir tiempo y generar un trabajo eficiente para el desarrollo de proyectos de diseño estructural en el área de la ingeniería, se desarrolló un aplicativo que permitiera obtener resultados confiables basado en los requerimientos normativos vigentes para el diseño estructural de elementos que estén sometidos a flexión y cortante, lo que es el caso específico de las vigas. Este aplicativo maneja una interfaz sencilla debido a que es desarrollado en una herramienta que la mayor parte de la población puede obtener fácilmente, adicional a esto el aplicativo incluye requerimientos que no contemplan algunas literaturas y provee un resultado posible al usuario permitiéndole también tener criterio de decisión final para realizar dicho diseño.

Seguido de esto se presentará en este documento los lineamientos que se deben seguir para desarrollar de una manera óptima el aplicativo, así mismo, mostrar una orientación de cómo solucionar mensajes de error que se puedan presentar en el desarrollo del mismo.

## **2. Objetivo**

Con el presente documento se busca que el usuario tenga conocimiento como debe ingresar los datos iniciales, aprenda a obtener resultados y datos de salida, de igual forma busca definir las funciones que el usuario deberá realizar para un correcto desarrollo del aplicativo e informar la respuesta en caso de que se presenten mensajes de error.

### **3. Acceso al aplicativo**

Para utilizar el aplicativo se debe tener instalado en el computador el programa computacional de Microsoft Office, que sirve para la creación, manejo y modificación de hojas de cálculo llamado Excel.

### **4. Normatividad**

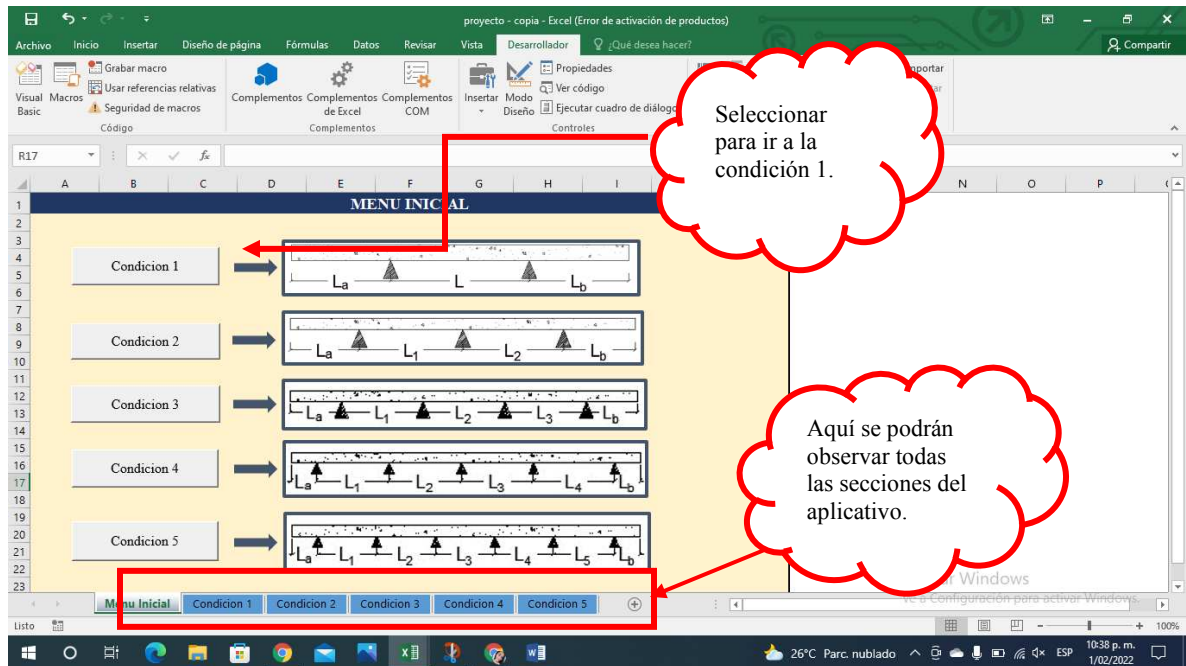
La normatividad requerida para desarrollar el diseño a flexión y cortante y los diferentes procesos se encuentra en:

- Título A, NSR-10. Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente.
- Título C, NSR-10. Concreto E

### **5. Iniciación al uso del sistema**

Para iniciar el aplicativo simplemente se debe tener claro que el elemento a diseñar consiste en una viga y tener presente las condiciones de apoyo que esta tendrá, como también, la cantidad de luces que se desean diseñar. En este menú inicial la persona solo deberá seleccionar el tipo de condición y el aplicativo automáticamente lo llevará a la hoja de cálculo correspondiente para realizar el diseño según la condición seleccionada. A continuación, se muestra como luce el menú inicial. Se recomienda al usuario leer cada una

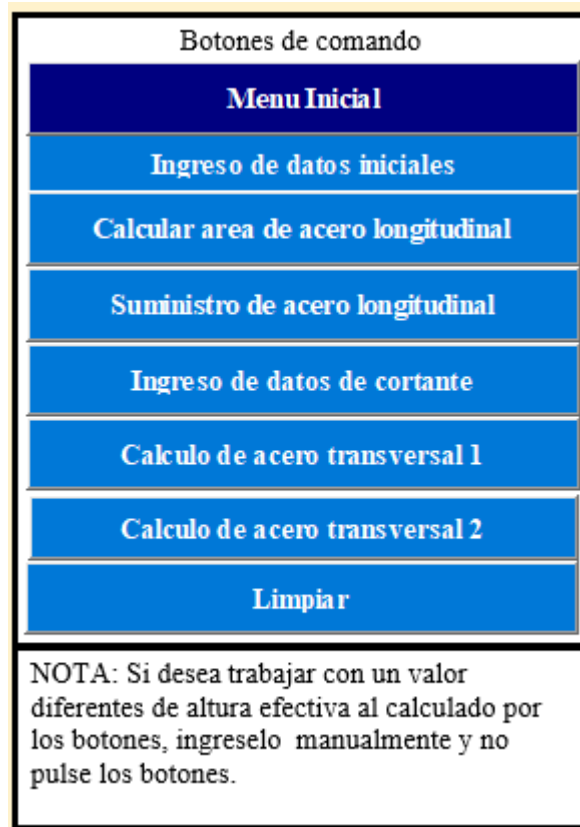
de las notas estipuladas en las diferentes ventanas desplegadas en el aplicativo para una mejor comprensión de los procedimientos del mismo y un correcto ingreso de datos.



En el aplicativo se encontrarán diversos botones que nos permitirán el desarrollo del mismo, para esto encontramos los siguientes botones:

- Botones de comando

Estos botones le permitirán al usuario realizar los diferentes procesos de cálculo, volver al menú inicial y limpiar la hoja de cálculo de cualquier dato ingresado y calculado anteriormente.



- Botón de menú inicial

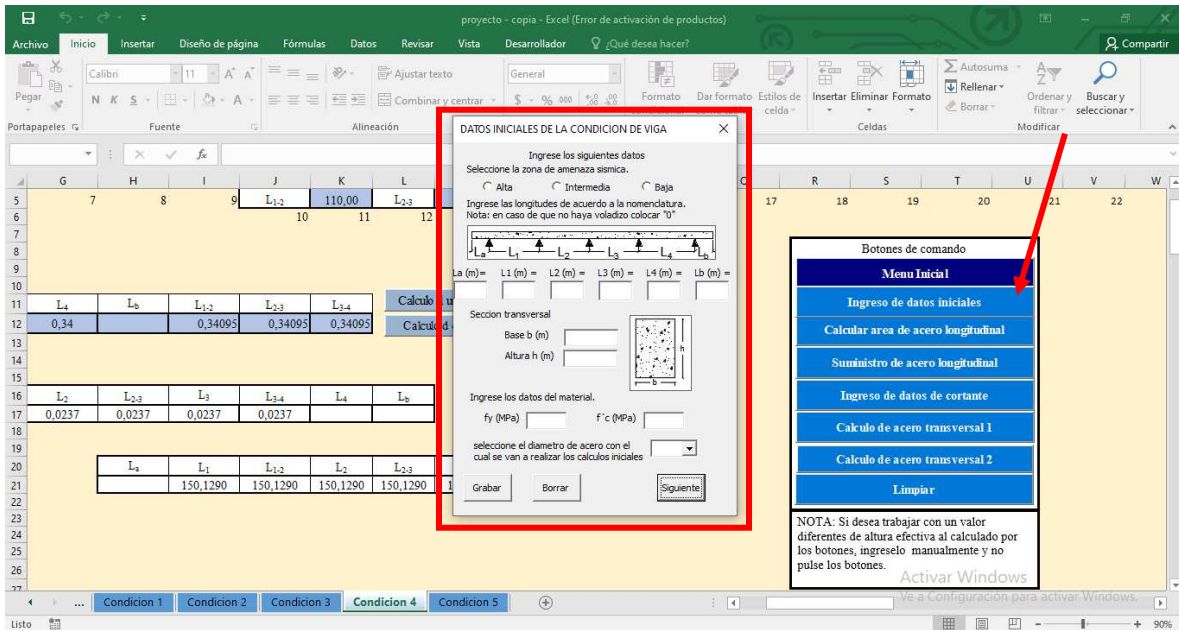
Al seleccionar este botón, automáticamente nos conducirá a la hoja donde se encuentra el menú inicial del aplicativo.



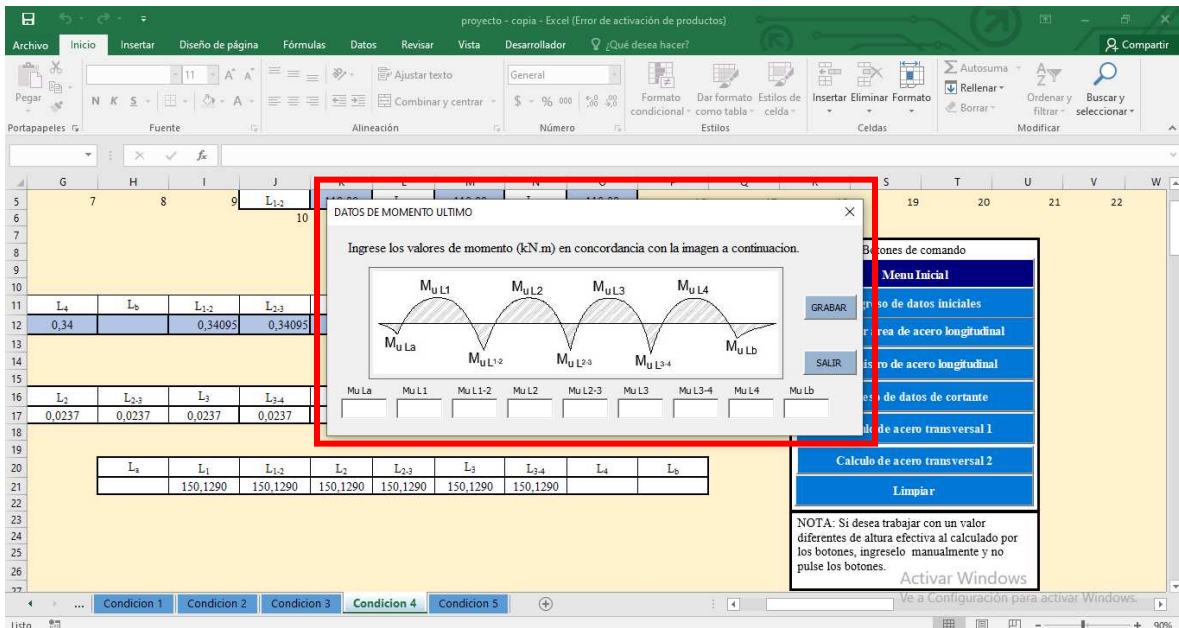
- Botón ingreso de datos iniciales

Al seleccionar este botón se desplegará una ventana en la cual se deberán introducir las condiciones iniciales del elemento a diseñar, como lo son dimensiones de la sección transversal, zona de amenaza sísmica y propiedades mecánicas de los materiales, de igual forma, la persona podrá elegir un diámetro de acero inicial para el respectivo caculo de la atura efectiva en caso de que desee que lo realice internamente el aplicativo, si se

requiere realizar un recálculo de este dato deberá acceder a los botones de cálculo explicados más adelante en este documento.

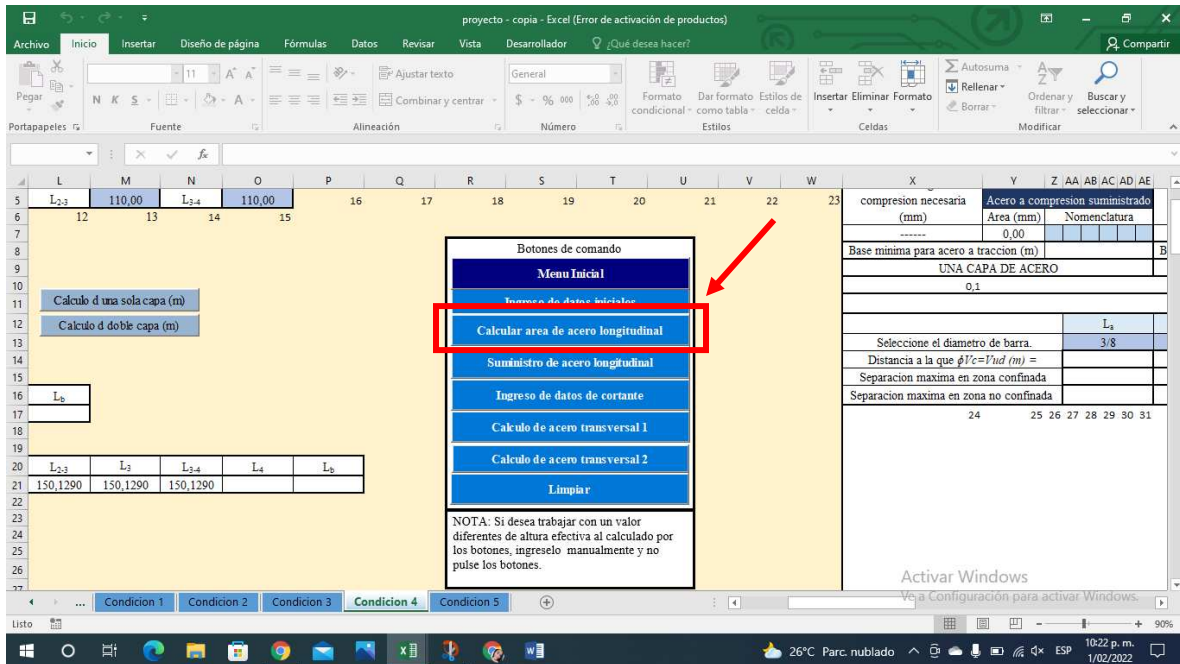


En este mismo al seleccionar el botón siguiente despegara otra ventana en la cual se deberán incluir los valores de momentos últimos respectivos encontrados.



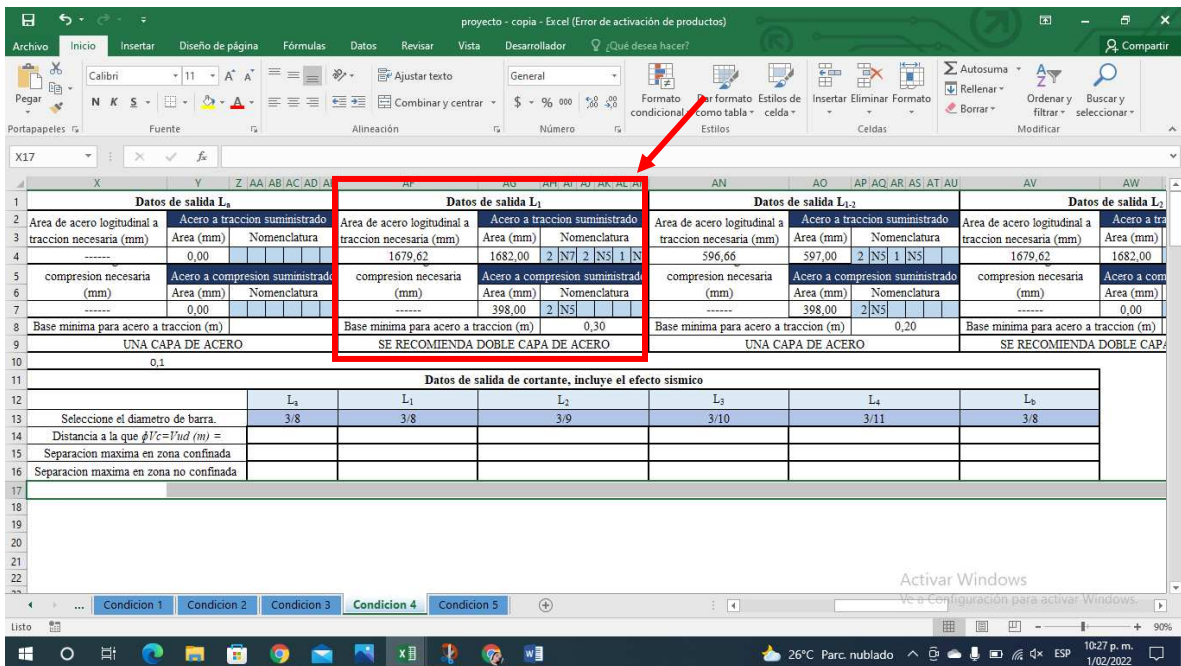
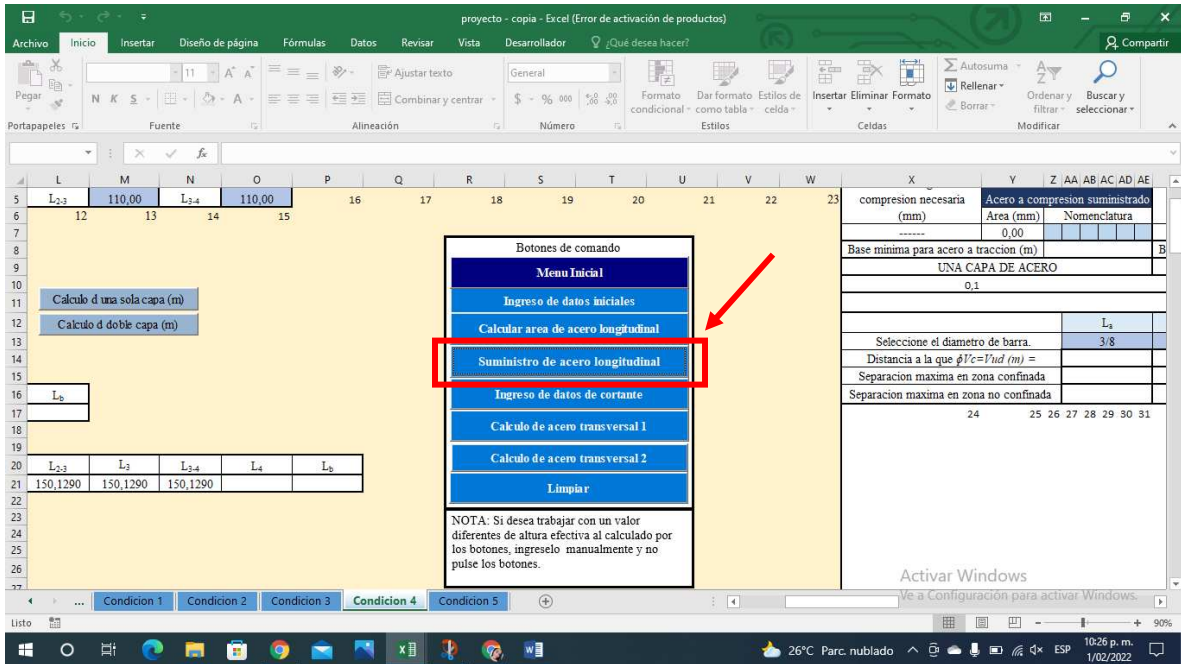
- Botón calcular área de acero longitudinal

Al seleccionar esta opción el aplicativo realizara el proceso de cálculo de área de acero requerida en cada uno de los tramos a diseñar y lo almacenara en la sección de datos de salida de la hoja de cálculo.



- Botón suministro de acero longitudinal

Al seleccionar este botón el aplicativo mostrara un posible suministro de acero longitudinal con diámetros comerciales de acero para el diseño de vigas, el cual se muestra en la sección de datos de salida como área a suministrar.

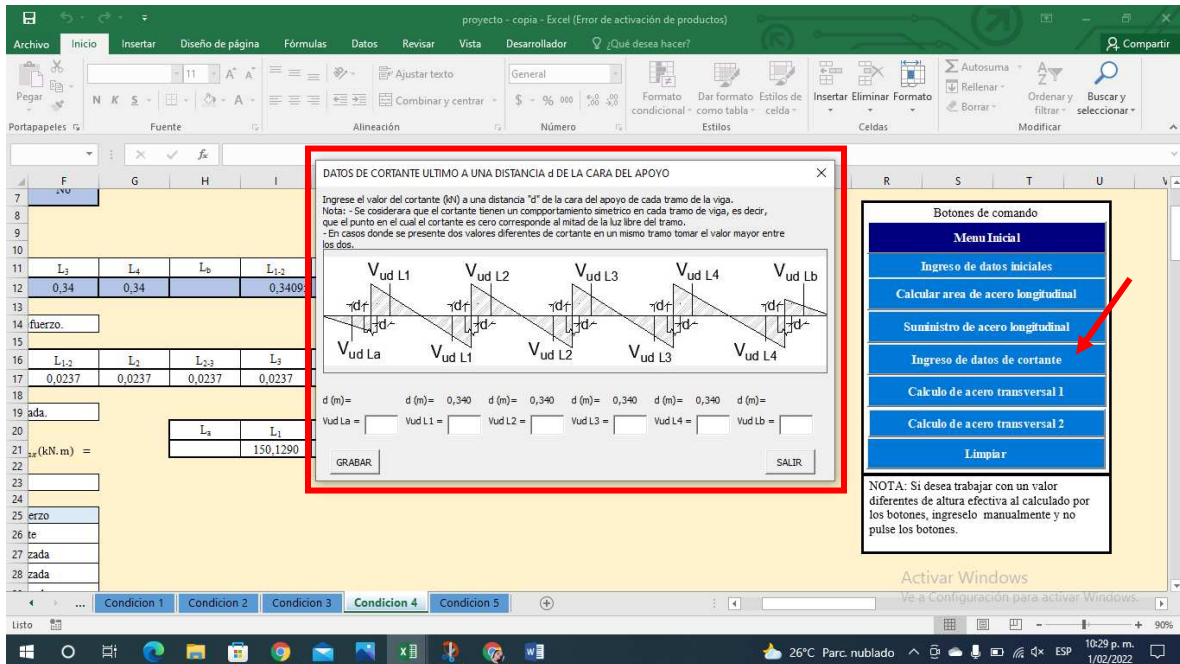


- Botón ingreso datos de cortante

En este botón se desplegará una ventana en la cual se deberán ingresar los datos respectivos de cortante obtenidos en el diagrama del elemento, ahí se

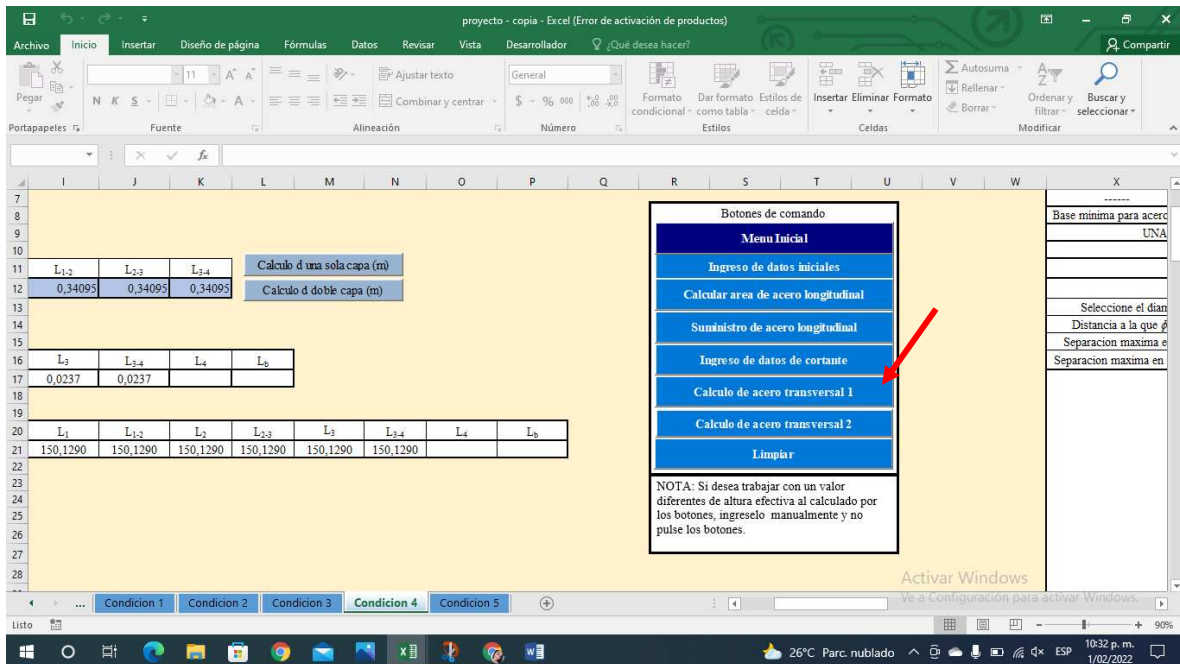


mostrará una nota aclaratoria del dato a suministrar para que el usuario ingresa el dato correcto.



- Botón cálculo de acero transversal 1

Por medio de este botón se realizarán los cálculos de diseño de acero transversal y se mostrarán en los respectivos datos de salida, para el caso de separación de acero según sea el diámetro seleccionado a trabajar.



- Botón cálculo de acero transversal 2

Por medio de este botón se realizarán los cálculos de diseño de acero transversal finales, teniendo en cuenta el cortante plástico y se mostrarán en los respectivos datos de salida, para el caso de separación de acero según sea el diámetro seleccionado a trabajar, en este caso se realizó en dos partes debido a que el procedimiento era demasiado extenso y el aplicativo no lo ejecutaba con un solo botón.

proyecto - copia - Excel (Error de activación de productos)

Archivos Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Desarrollador

Botones de comando

Menu Inicial

Ingreso de datos iniciales

Calcular area de acero longitudinal

Suministro de acero longitudinal

Ingreso de datos de cortante

Calculo de acero transversal 1

Calculo de acero transversal 2

Limpiar

NOTA: Si desea trabajar con un valor diferentes de altura efectiva al calculado por los botones, ingreselo manualmente y no pulse los botones.

Activar Windows

Ve a Configuración para activar Windows.

26°C Parc. nublado 10:32 p. m. 1/02/2022

- Botón limpiar

Al seleccionar este botón se podrá observar que las hojas de cálculo quedaran con todos los espacios calculados anteriormente en blanco.

proyecto - copia - Excel (Error de activación de productos)

Archivos Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Desarrollador

Visual Basic

Grabar macro

Usar referencias relativas

Seguridad de macros

Código

Complementos

Complementos de Excel

Complementos COM

Insertar

Modo Diseño

Ejecutar cuadro de dialogo

Propiedades

Ver código

Propiedades de la asignación

Paquetes de expansión

Importar

Exportar

Origen

Actualizar datos

XML

Botones de comando

Menu Inicial

Ingreso de datos iniciales

Calcular area de acero longitudinal

Suministro de acero longitudinal

Ingreso de datos de cortante

Calculo de acero transversal 1

Calculo de acero transversal 2

Limpiar

NOTA: Si desea trabajar con un valor diferentes de altura efectiva al calculado por los botones, ingreselo manualmente y no pulse los botones.

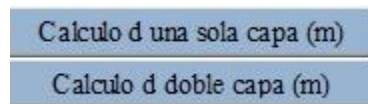
Activar Windows

Ve a Configuración para activar Windows.

90%

- Botón calculo altura efectiva una sola capa y doble capa

En el aplicativo encontramos dos botones para calcular la altura efectiva del elemento en caso tal de que el usuario quiera realizar el cálculo de altura efectiva de una forma manual o distinta al calculado inicialmente, también servirán para cuando se requiera una doble capa de acero y volver a recalculer esta altura efectiva.



- Botón cálculo de altura efectiva prima

Este botón permitirá volver a calcular esta altura efectiva, en caso tal de que se requiera y se desee obtener de una manera más sencilla.

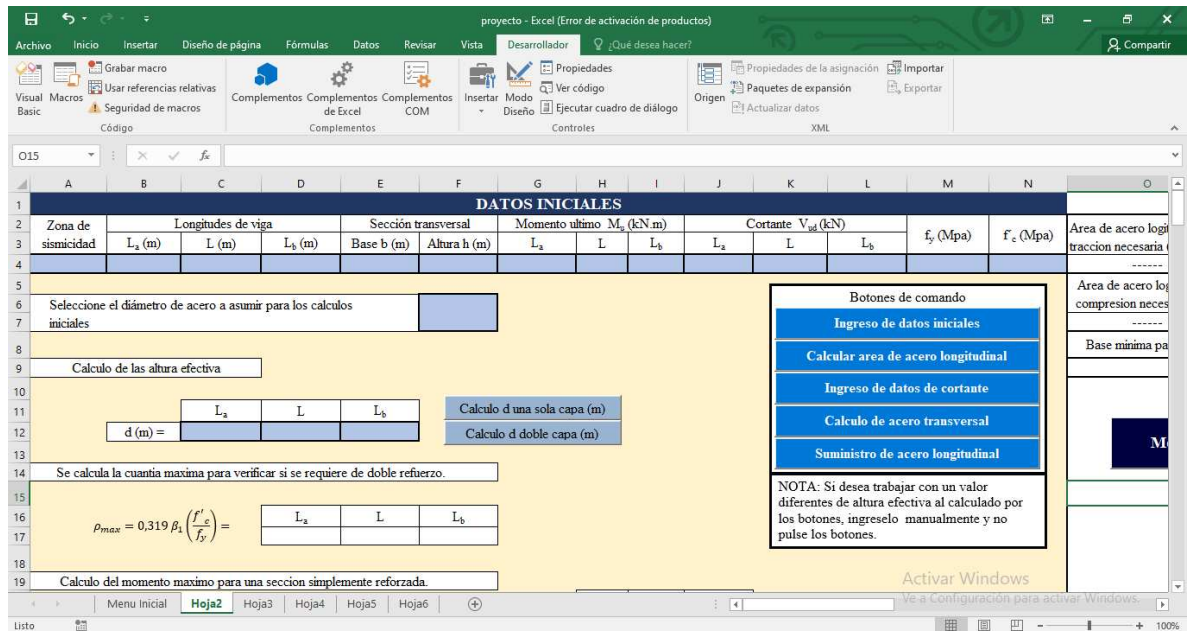


## 6. Manual de referencia

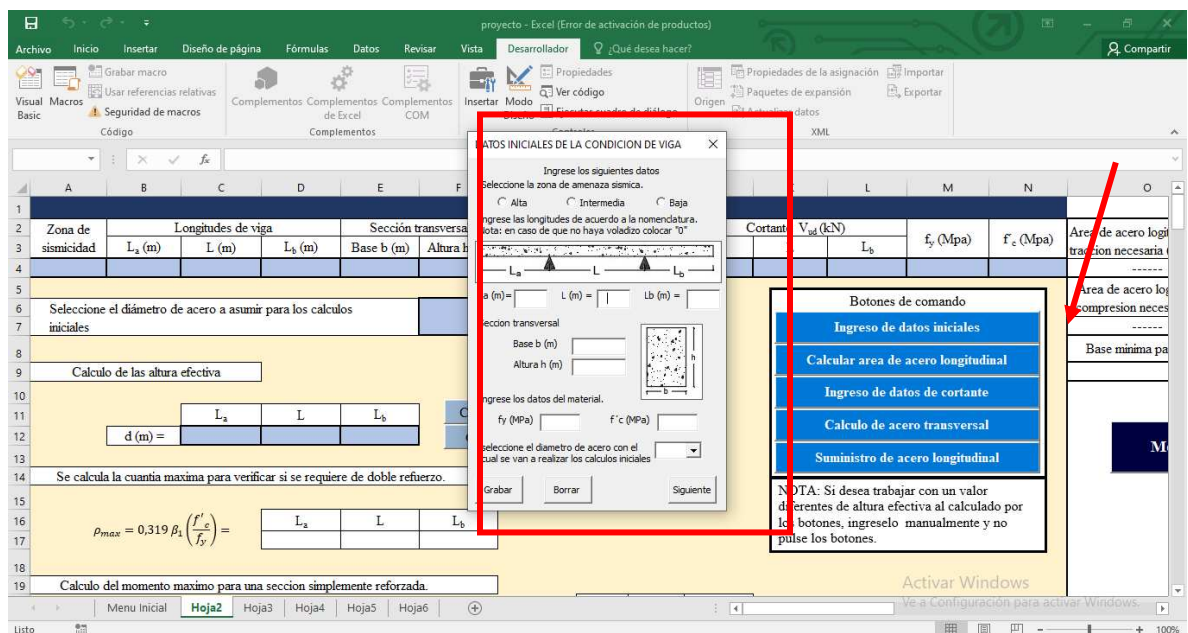
Para mostrar de una manera más detallada la correcta utilización del aplicativo se desarrollará un ejercicio planteado en el documento principal el cual nos permitirá darle a conocer al usuario como puede ingresar los datos iniciales y como obtener los resultados y en qué lugar se encuentran.

El ejercicio es el problema 2.12 de la página 78 del libro Estructura de Concreto I de Jorge Ignacio Segura Franco.

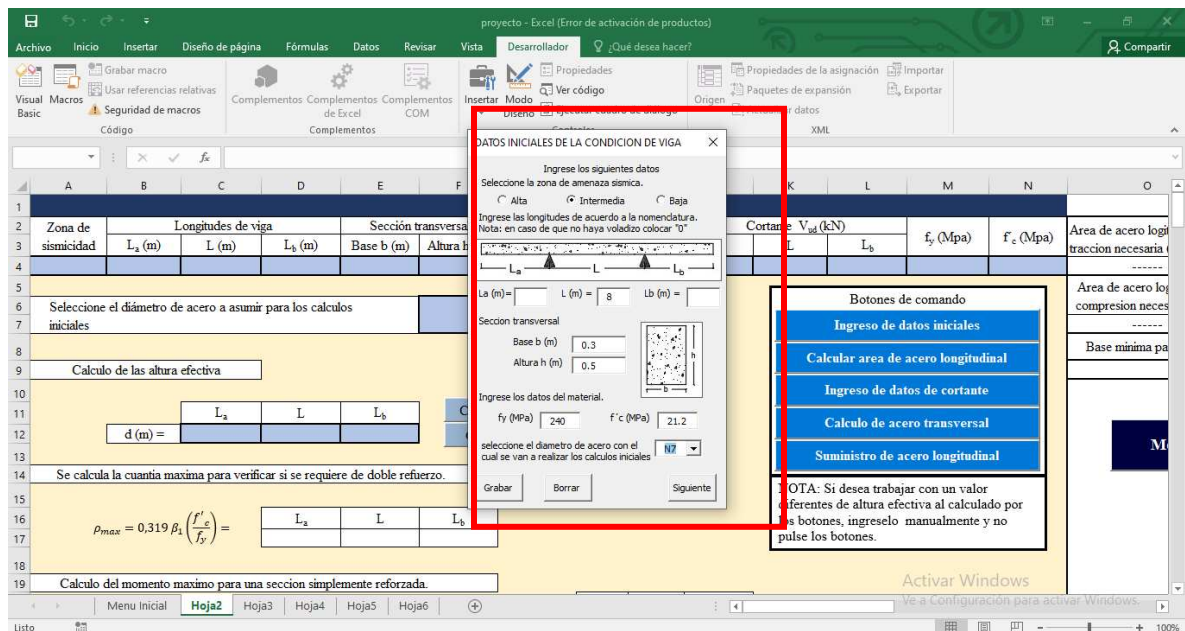
Como se mencionó en el ítem anterior luego de que la persona haya seleccionado la condición que desea diseñar, este mostrara la hoja de cálculo correspondiente, para este caso se seleccionó la condición 1, por lo que se muestra la siguiente hoja de cálculo.



En esta imagen se puede observar que muestra principalmente los datos iniciales que tiene el elemento, para iniciar a diseñar se deberán incluir dichos datos como loes, especificar la zona de sismicidad, longitud del tramo, dimensiones de la sección transversal de la viga, condiciones de los materiales, acero asumido inicial y momentos últimos obtenidos. Se debe dar clic en el botón ingreso de datos iniciales como primer paso.

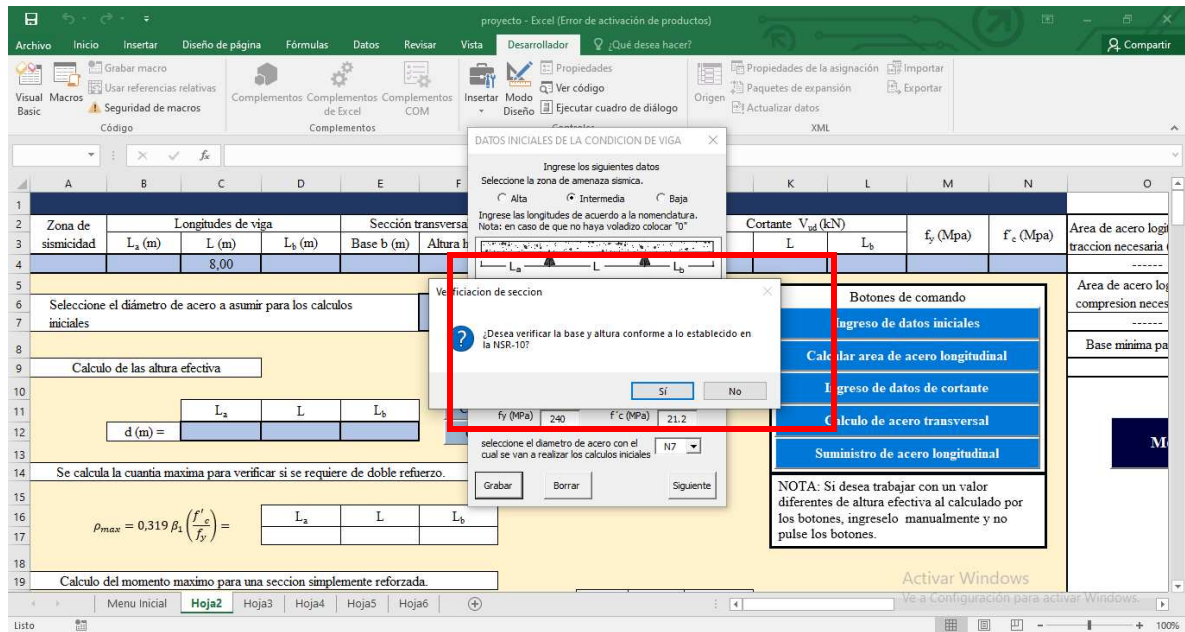


Este botón desplegará una ventana en la cual deberemos ingresar las condiciones iniciales mencionadas anteriormente, como se muestra seguido a esto.

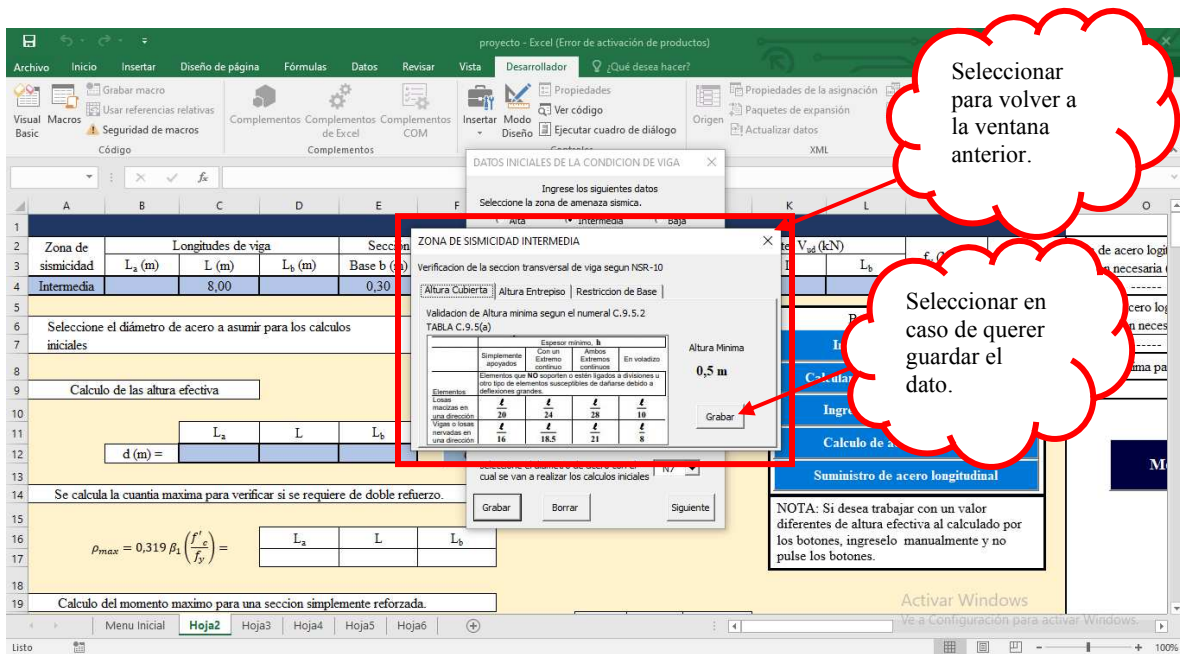


Luego de ingresar los datos en la parte inferior encontramos 3 botones, grabar, borrar y siguiente, los cuales me permitirán guardar la información escrita en las respectivas celdas de la hoja de cálculo, borrar todos los datos que suministre en esta ventana o continuar con el siguiente paso. En mi caso verifico que todos los datos están escritos correctamente por lo cual procedo a seleccionar el botón grabar y siguiente, en caso contrario se deben presionar el botón borrar para suministrar nuevamente la información correcta.

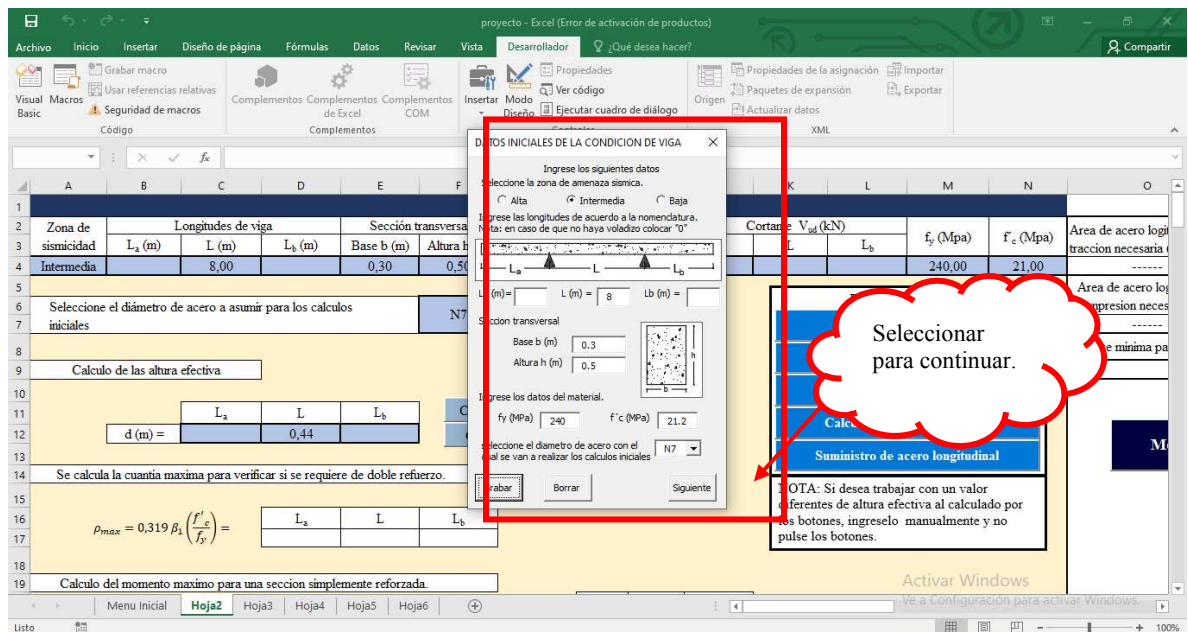
Cuando selecciono el botón grabar el aplicativo mostrará un mensaje en el que preguntará al usuario si quiere verificar los requerimientos mínimos de base y altura de viga descritos en la NSR-10.



Al seleccionar el botón si, enseguida se mostrara una ventana que indicara dichas condiciones según la zona de amenaza sísmica seleccionada inicialmente. Esta ventana me muestra la condición de altura en cubierta, altura en entrepiso y la restricción de base, el usuario podrá visualizar estas consideraciones y decidir si desea trabajar con estas o con las consideradas inicialmente, si escoge el primer camino podrá grabar seleccionando el botón grabar y seguido a esto cerrará la ventana presente, si no, solo deberá seleccionar cerrar para volver a la ventana anterior.



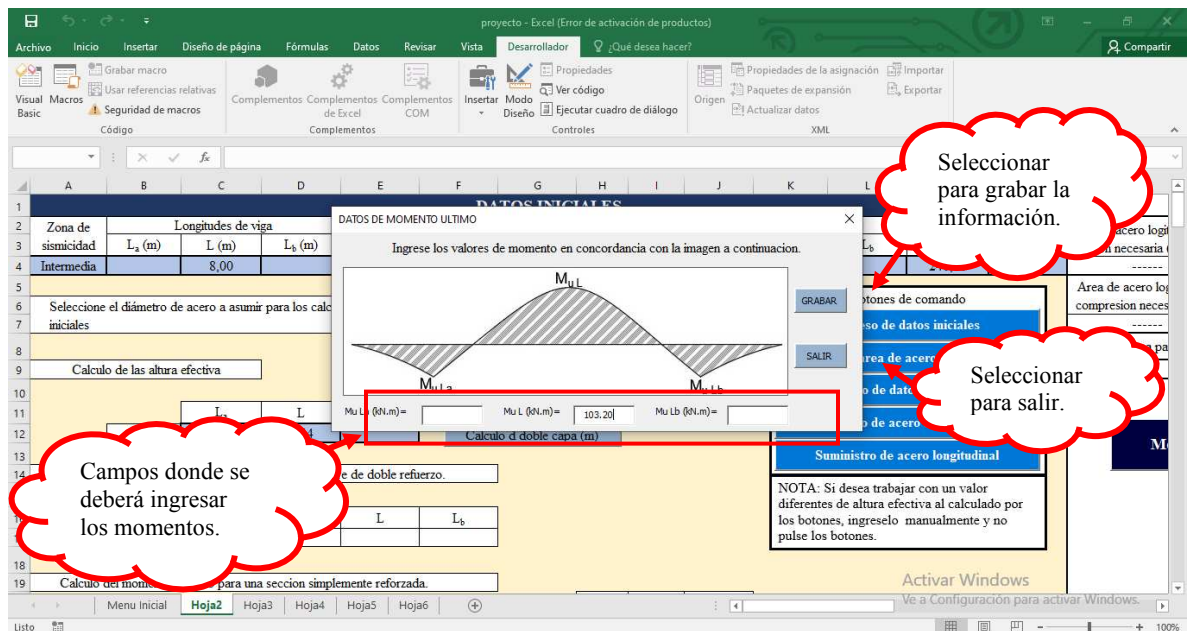
Al volver a la ventana anterior se debe seleccionar el botón siguiente para continuar con el proceso de introducción de datos.



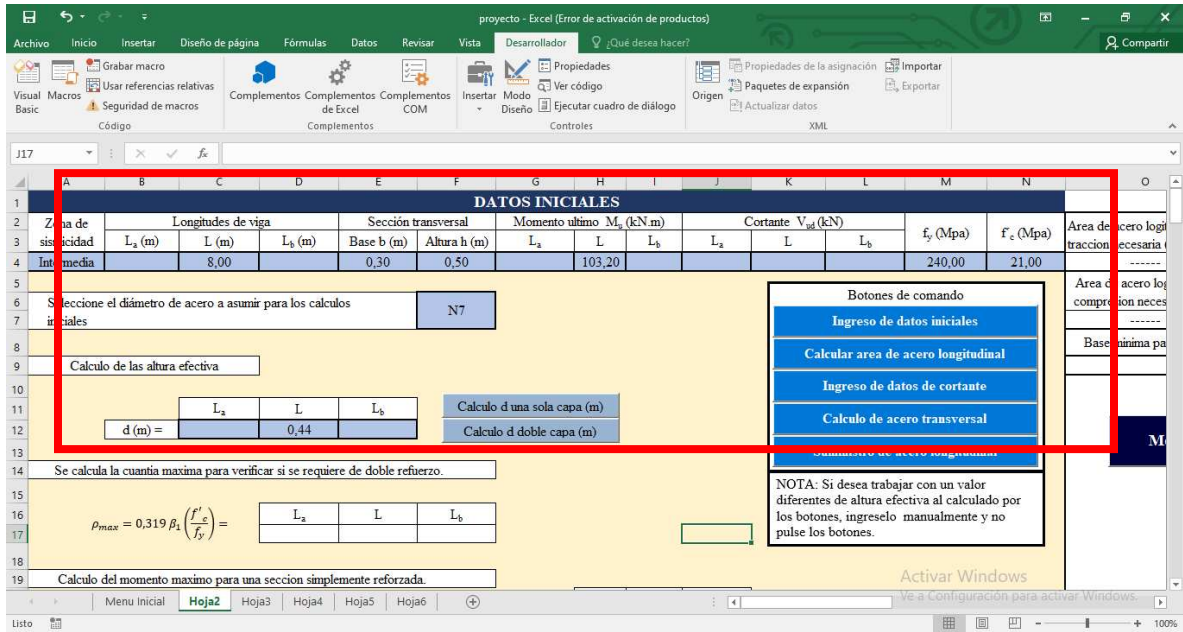
Seguido de esto se desplegará una ventana en la cual mostrará el diagrama de momento posible para la condición seleccionada, aquí se deberá ingresar el dato de



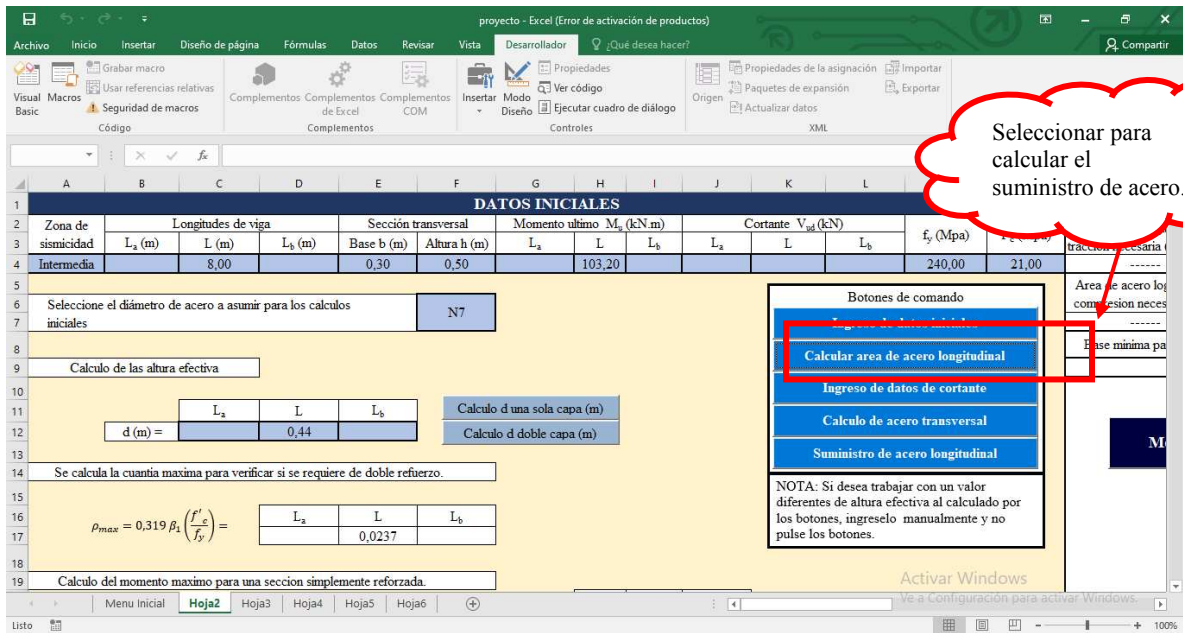
momento último en cada tramo, aquí tendremos la opción de grabar el dato escrito y posteriormente salir.



Luego de seleccionar salir podremos observar en la parte superior de la hoja de cálculo los datos que suministramos en las ventanas anteriores en los cuales podremos verificar que estos datos sean los que proporcionamos, de igual forma ya podremos ver el primer cálculo que realiza el aplicativo que es el cálculo de la altura efectiva del elemento teniendo en cuenta el acero longitudinal asumido inicialmente.



Luego de haber verificado esta información, se procede a realizar el cálculo de área de acero longitudinal en el cual solo se deberá oprimir el botón calcular área de acero longitudinal ubicado en los botones de comando y el aplicativo desarrollará el proceso automáticamente.



Al seleccionar este botón en la hoja de cálculo se mostrarán los diferentes resultados de cuantía máxima, mínima, suministra, momentos máximos y nos indicara si la sección es simplemente reforzada o doblemente reforzada, toda esta información se podrá observar deslizando la hoja de cálculo hacia abajo.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following content:

- Inputs:**  $L_2$ ,  $L$ ,  $L_b$ ,  $d$  (m) = 0.44.
- Buttons:** "Calculo d una sola capa (m)", "Calculo d doble capa (m)".
- Section 14:** "Se calcula la cuantía maxima para verificar si se requiere de doble refuerzo."
 
$$\rho_{max} = 0.319 \beta_1 \left( \frac{f'_c}{f_y} \right) =$$
 Values:  $L_2$ ,  $L$ ,  $L_b$ , 0.0237.
- Section 19:** "Calculo del momento maximo para una seccion simplemente reforzada."
 
$$M_{max} = \phi \cdot \rho_{max} \cdot f_y \cdot b \cdot d^2 \left( 1 - 0.59 \cdot \rho_{max} \frac{f_y}{f'_c} \right) \Rightarrow M_{max} \text{ (kN.m) =}$$
 Value: 249,346.
- Section 23:** "Verificación de momentos frente al momento máximo"
 

Vano de viga	Condición de refuerzo
$L_2$	Vano no existente
$L$	Simplemente reforzada
$L_b$	Vano no existente

Si continuamos bajando encontraremos el procedimiento que se realiza para determinar el área de acero suministrado, en la sección de procedimiento de diseño sección simplemente reforzada, lo mismo podremos observar cuando se trata de una sección doblemente reforzada, lo que se podrá observar en el costado derecho de mostrado en la siguiente ilustración. A continuación, podemos observar el procedimiento completo que muestra el aplicativo para el caso de sección simplemente reforzada. Esto se muestra para que el usuario tenga mayor claridad sobre los procesos que se están realizando internamente en el aplicativo.

## PROCEDIMIENTO DISEÑO SECCION SIMPLEMENTE REFORZADA

Calculo de la cuantía

$$M_u = \phi \cdot \rho \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y \cdot \left(1 - 0.59 \cdot \rho \cdot \frac{f_y}{f'_c}\right)$$

Al despejar  $\rho$  se obtiene la siguiente ecuación cuadrática.

$$\rho = \frac{-\phi \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y \pm \sqrt{(\phi \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y)^2 - 4 \cdot \left(0.59 \cdot \frac{f_y^2}{f'_c} \cdot b \cdot d^2 \cdot \phi\right) \cdot (M_u)}}{2 \cdot \left(0.59 \cdot \frac{f_y^2}{f'_c} \cdot b \cdot d^2 \cdot \phi\right)}$$

De los dos valores resultantes se escogerá el más pequeño.

	I <sub>a</sub>	L	I <sub>b</sub>
$\rho =$		0,0088	

Area de acero por momento

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

	I <sub>a</sub>	L	I <sub>b</sub>
$A_s \text{ (mm)} =$		1156	

Area de acero mínima según NSR-10

$$1) A_{s_{min}} = \frac{0.25 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d}{f_y}$$

	I <sub>a</sub>	L	I <sub>b</sub>
$A_{min} \text{ (mm)} =$		629	

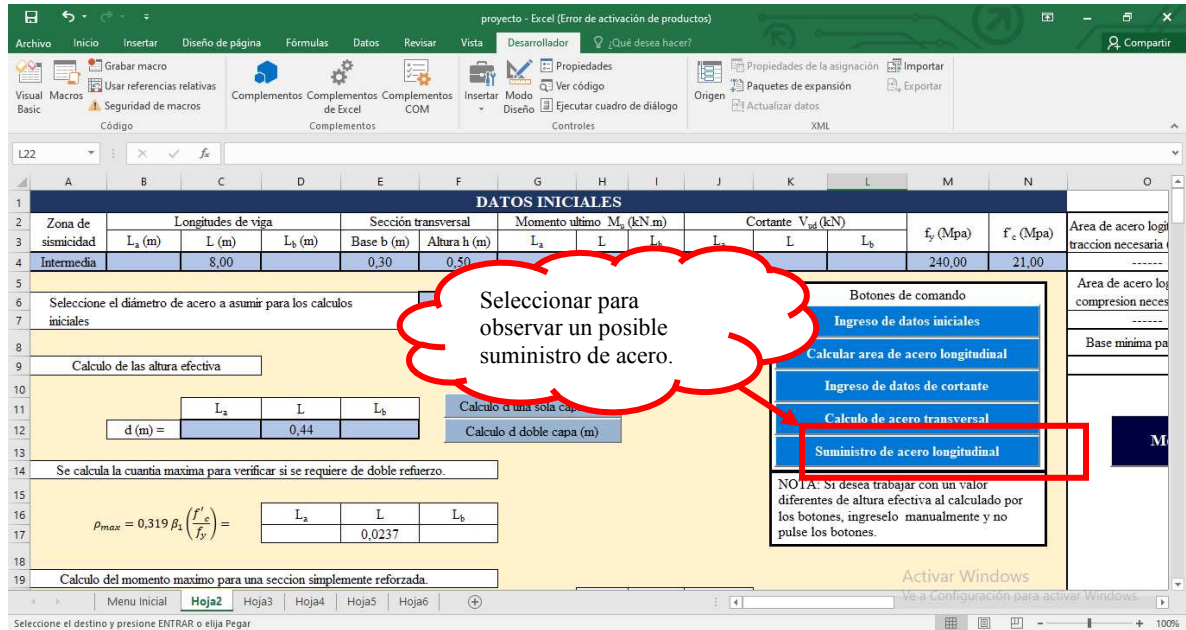
$$2) A_{s_{min}} = \frac{1.4 \cdot b \cdot d}{f_y}$$

	I <sub>a</sub>	L	I <sub>b</sub>
$A_{min} \text{ (mm)} =$		769	

Area de acero a suministrar.

	I <sub>a</sub>	L	I <sub>b</sub>
$A_{min} \text{ (mm)} =$		1156	

Posteriormente para observar un posible suministro de acero longitudinal deberemos seleccionar en la sección de botones de comando, la opción de suministro de acero longitudinal.



Luego de esto podremos observar en la sección de datos de salida, un posible suministro de acero para el área solicitada según las condiciones especificadas inicialmente, desplazándonos hacia la derecha de la hoja de cálculo. En esta sección podremos observar el área de acero requerida y suministrada según el acero seleccionado, como se mencionó anteriormente el aplicativo también le permite al usuario proporcionar, en base al cálculo de área de acero, un suministro según su criterio. De igual forma se tiene en cuenta el área de acero mínimo a compresión.

También nos muestra si el suministro de acero puede ser ubicado en una sola capa o en dos capas y encontrará un botón en el que se podrá volver al menú inicial donde se muestran las condiciones de viga.

Datos de salida L <sub>2</sub>			Datos de salida L			Datos de salida L <sub>4</sub>		
Area de acero logitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado	Nomenclatura	Area de acero logitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado	Nomenclatura	Area de acero logitudinal a traccion necesaria (mm)	Acero a traccion suministrado	Nomenclatura
0,00			1155,66	1161,00	2 N7 1 N7	0,00		
Area de acero logitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado	Nomenclatura	Area de acero logitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado	Nomenclatura	Area de acero logitudinal a compresion necesaria (mm)	Acero a compresion suministrado	Nomenclatura
0,00			258	2 N4		0,00		
Base minima para acero a traccion (m)			Base minima para acero a traccion (m)		0,22	Base minima para acero a traccion (m)		
UNA CAPA DE ACERO			UNA CAPA DE ACERO			UNA CAPA DE ACERO		

Menu Inicial

Si se desea realizar el diseño de cortante se deberá seleccionar en la sección botones de comando la opción ingreso datos de cortante, en este se desplegará una ventana en la cual el usuario deberá ingresar los datos solicitados para el respectivo diseño de cortante y nos mostrará una nota aclaratoria de lo que se considera para dicho diseño.

proyecto - Excel (Error de activación de productos)

Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Desarrollador ¿Qué desea hacer?

Visual Macros Usar referencias relativas Seguridad de macros Complements Complements de Excel Complements COM Insertar Modo Diseño Ejecutar cuadro de diálogo Controles

Propiedades Propiedades de la asignación Paquetes de expansión Actualizar datos XML

M18

DATOS INICIALES															
Zona de	Longitudes de viga			Sección transversal		Momento ultimo $M_u$ (kN.m)			Cortante $V_{ud}$ (kN)			$f_y$ (Mpa)	$f_c$ (Mpa)	Area de acero log	
sismicidad	$L_2$ (m)	L (m)	$L_b$ (m)	Base b (m)	Altura h (m)	$L_a$	L	$L_b$	$L_a$	L	$L_b$				
Intermedia		8,00		0,30	0,50				103,20				240,00	21,00	Area de acero log
traccion necesaria (															

7 Seleccione el diámetro de acero a asumir para los calculos iniciales

8 Calculo de las altura efectiva

9  $d$  (m) =  $L_a$  L  $L_b$  0,44

10 Calculo d una sola capa (m)

11 Calculo d doble capa (m)

14 Se calcula la cuantia maxima para verificar si se requiere de doble refuerzo.

15  $\rho_{max} = 0,319 \beta_1 \left( \frac{f_c'}{f_y} \right) =$   $L_a$  L  $L_b$  0,0237

16 Calculo del momento maximo para una seccion simplemente reforzada.

Botones de comando

Ingreso de datos iniciales

Calcular area de acero longitudinal

Ingreso de datos de cortante

Calculo de acero transversal

Suministro de acero longitudinal

NOTA: Si desea trabajar con un valor diferentes de altura efectiva al calculado por los botones, ingreselo manualmente y no pulse los botones.

proyecto - Excel (Error de activación de productos)

Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Desarrollador ¿Qué desea hacer?

Visual Macros Usar referencias relativas Seguridad de macros Complements Complements de Excel Complements COM Insertar Modo Diseño Ejecutar cuadro de diálogo Controles

Propiedades Propiedades de la asignación Paquetes de expansión Actualizar datos XML

M18

DATOS INICIALES															
Zona de	Longitudes de viga			Sección transversal		Momento ultimo $M_u$ (kN.m)			Cortante $V_{ud}$ (kN)			$f_y$ (Mpa)	$f_c$ (Mpa)	Area de acero log	
sismicidad	$L_2$ (m)	L (m)	$L_b$ (m)	Base b (m)	Altura h (m)	$L_a$	L	$L_b$	$L_a$	L	$L_b$				
Intermedia		8,00		0,30	0,50				103,20				240,00	21,00	Area de acero log
traccion necesaria (															

7 Seleccione el diámetro de acero a asumir para los calculos iniciales

8 Calculo de las altura efectiva

9  $d$  (m) =  $L_a$  L  $L_b$  0,44

10 Calculo d una sola capa (m)

11 Calculo d doble capa (m)

14 Se calcula la cuantia maxima para verificar si se requiere de doble refuerzo.

15  $\rho_{max} = 0,319 \beta_1 \left( \frac{f_c'}{f_y} \right) =$   $L_a$  L  $L_b$  0,0237

16 Calculo del momento maximo para una seccion simplemente reforzada.

DATOS DE CORTANTE ULTIMO A UNA DISTANCIA d DE LA CARA DEL APOYO

Ingrese el valor del cortante a una distancia "d" de la cara del apoyo de cada tramo de la viga.

Nota: - Se considerara que el cortante bienen un comportamiento simetrico en cada tramo de viga, es decir, que el punto en el cual el cortante es cero corresponde a la mitad de la luz libre del tramo.

En casos donde se presente dos valores diferentes de cortante en un mismo tramo tomar el valor mayor entre los dos.

$d$  (m) =  $d$  (m) = 0,439  $d$  (m) =

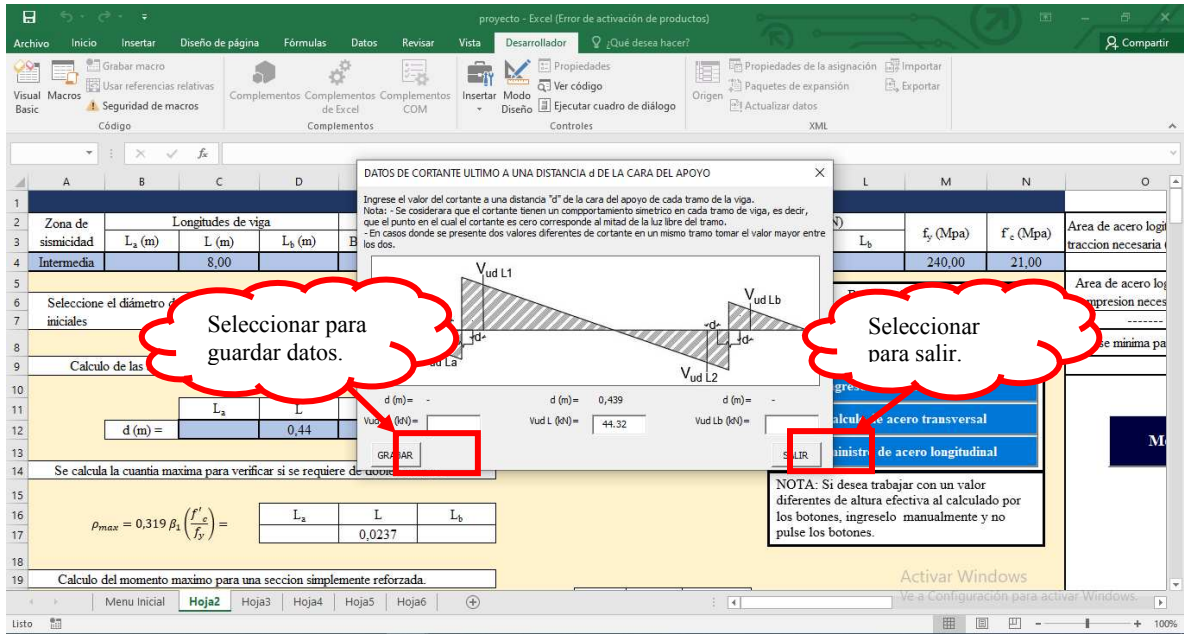
$V_{ud La} (\text{kN}) =$   $V_{ud L} (\text{kN}) =$   $V_{ud Lb} (\text{kN}) =$

GRABAR SALIR

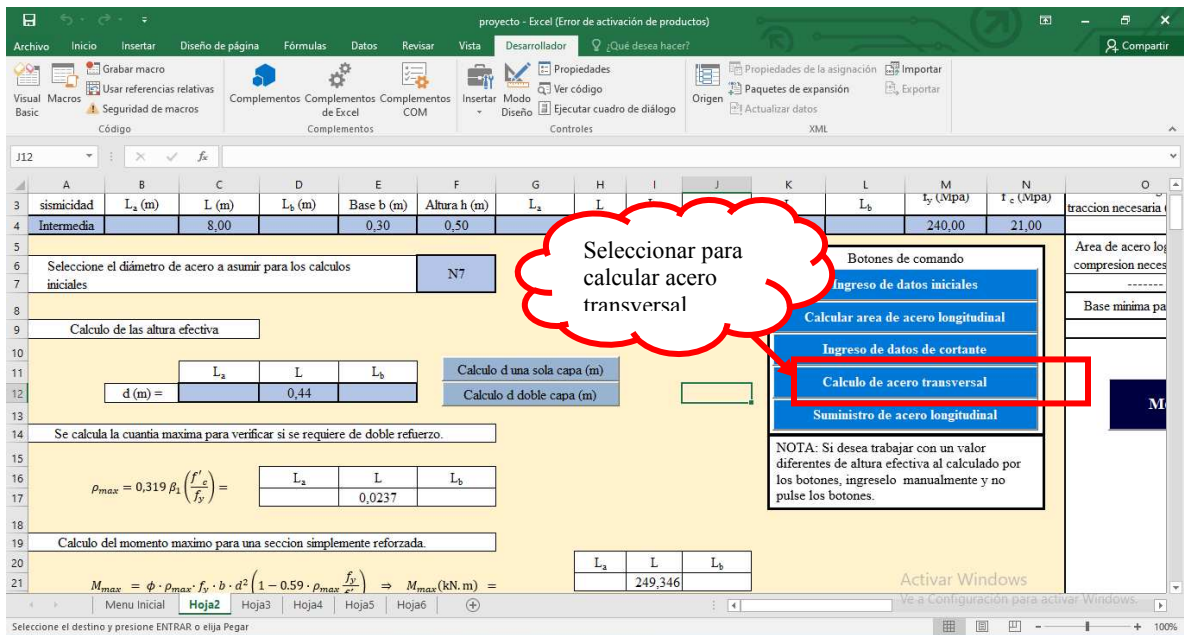
NOTA: Si desea trabajar con un valor diferentes de altura efectiva al calculado por los botones, ingreselo manualmente y no pulse los botones.

Ingresar dato de cortante a una distancia d.

Luego de ingresar los datos se deberá seleccionar la opción grabar para que guarde los datos suministrados en la hoja de cálculo y posteriormente la opción salir.



Posteriormente en la sección de botones de comando seleccionar la opción cálculo de acero transversal.



Al deslizar en la hoja de cálculo encontraremos una sección de diseño a cortante en la que se mostrara el procedimiento de diseño a cortante que permitirá al usuario una mayor



claridad en los procesos realizados, en este se mostrara la respectiva separación del acero transversal según las diferentes consideraciones descritas en el documento principal.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following content:

**TÍTULO: DISEÑO A CORTANTE**

**CORTANTE CON FUERZAS GRAVITATORIAS**

Resistencia del concreto al cortante

$\phi V_c$ (kN) =	$L_a$	L	$L_b$
	Vc < Vud	77,02	Vc < Vud

$\phi V_s$  (kN) = NO APLICA

Separación de estribos por cortante con estribos de dos ramas

$$s = \frac{\phi A_s \cdot f_y \cdot d}{\phi V_s}$$

Estribo de 1/4" S(m) =	$L_a$	L	$L_b$
Estribo de 3/8" S(m) =			
Estribo de 1/2" S(m) =			

Separación de estribos por área mínima de refuerzo transversal por norma

$\rho$ mínima suministrada =	$L_a$	L	$L_b$
	NO APLICA	0,0088	NO APLICA

M (kN.m) = NO APLICA 115,16 NO APLICA

Calculo del cortante máximo de diseño ( $V_d$ )

**EFECTO DE PLASTICIDAD**

Calculo de los momentos por acción de vigas

Para cálculo de los momentos se deben aplicar las siguientes ecuaciones según sea la zona de el diseño

Zona de sismicida	Ecuacion
Mínima	No Aplica
Intermedia	$M_n = \rho \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y \cdot \left(1 - 0.59 \cdot \rho \cdot \frac{f_y}{f'_c}\right)$
Alta	$M_{pr} = \phi \cdot \rho \cdot b \cdot d^2 \cdot 1.25 \cdot f_y \cdot \left(1 - 0.59 \cdot \rho \cdot \frac{f_y}{f'_c}\right)$

A red box highlights the input data and formulas for concrete shear resistance and stirrup spacing. A red cloud callout points to the calculated values.

A continuación, se muestra dicho procedimiento de una manera más clara.

### CORTANTE CON FUERZAS GRAVITATORIAS

Resistencia del concreto al cortante

	$I_a$	$L$	$L_b$
$\phi V_c$ (kN) =		77,02	
	$V_c < V_{ud}$	$V_c > V_{ud}$	$V_c < V_{ud}$

$\phi V_s$ (kN) =	NO APLICA	
-------------------	-----------	--

Separacion de estribos por cortante con estribos de dos ramas

$$s = \frac{\phi A_v \cdot f_y \cdot d}{\phi V_s}$$

	$I_a$	$L$	$L_b$
Estribo de 1/4" S(m) =			
Estribo de 3/8" S(m) =			
Estribo de 1/2" S(m) =			

Separacion de estribos por area minima de refuerzo transversal por norma

Estribo de 1/4"

$$S_{max} = \frac{A_v \cdot f_y}{0.062 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w} = \frac{S_{Max}}{0,18}$$

$$S_{max} = \frac{A_v \cdot f_y}{0.35 \cdot b_w} = \frac{S_{Max}}{0,15}$$

Estribo de 3/8"

$$S_{max} = \frac{A_v \cdot f_y}{0.062 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w} = \frac{S_{Max}}{0,36}$$

$$S_{max} = \frac{A_v \cdot f_y}{0.35 \cdot b_w} = \frac{S_{Max}}{0,3}$$

Estribo de 1/2"

$$S_{max} = \frac{A_v \cdot f_y}{0.062 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w} = \frac{S_{Max}}{0,72}$$

$$S_{max} = \frac{A_v \cdot f_y}{0.35 \cdot b_w} = \frac{S_{Max}}{0,6}$$

Separacion según NSR-10

C.21	S(m)			C.11	S(m)		
	$I_a$	$L$	$L_b$		$I_a$	$L$	$L_b$
$\frac{d}{4}$		0,11		$\frac{d}{2}$		0,22	
8(D. barra)		0,17		600 mm		0,6	
$24\phi_{\xi} \frac{1}{4}"$		0,15		Zona no confinada			
$24\phi_{\xi} \frac{3}{8}"$		0,23					
$24\phi_{\xi} \frac{1}{2}"$		0,31					
300 (mm)		0,3					
Zona confinada							

longitud zona confinada  $2h$  (m) =

1

8

	$I_a$	$L$	$L_b$
Seleccione el diametro de barra.	3/8	3/8	3/8
Distancia a la que $\phi V_c = V_{ud}$ (m) =	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
Separacion maxima en zona confinada		0,11	
Separacion maxima en zona no confinada		0,22	

En este caso el aplicativo mostrara al usuario las separaciones máximas que podrá utilizar en la zona confinada y no confinada del elemento, según el diámetro que la persona desee utilizar, si se desea calcular dichas separaciones para otro diámetro se deberá seleccionar de forma manual en el cuadro final de resumen y proceder a seleccionar nuevamente cálculo de acero transversal. Como aclaración se menciona que en ocasiones cuando se presentan cortantes de gran magnitud se recalcula internamente una separación con el cortante que se encuentra a una distancia de zona de confinamiento con el objetivo de obtener una separación óptima.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data tables:

C.21				S(m)			C.11			S(m)		
$\frac{d}{4}$	$L_a$	L	$L_b$	$\frac{d}{2}$	$L_a$	L	$L_b$					
0,11		0,17		0,22								
8(D. barra)		0,15		600 mm		0,6						
24 $\phi$ <sub>1/4"</sub>		0,23		Zona no confinada								
24 $\phi$ <sub>3/8"</sub>		0,31										
24 $\phi$ <sub>1/2"</sub>		0,3										
300 (mm)				Zona confinada								
longitud zona confinada 2h (m) =				1								
Selección el diámetro de barra.				1/4	1/4	1/4						
Distancia a la que $\phi V_c = V_{ud}$ (m) =				NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA						
Separación máxima en zona confinada					0,11							
Separación máxima en zona no confinada					0,22							

On the right side, there is a 'Cuadro resumen separaciones por norma' table:

	$L_a$	L
Estribo de 3/8" S(m) =		-0,61
Estribo de 1/2" S(m) =		-1,11
	3/8	3/8
	NO APLICA	-0,67
		-0,61
		0,22

A red callout bubble with the text "Seleccionar manualmente el acero a utilizar." points to the diameter selection table.

De igual forma en el lado derecho de la misma sección se muestran los procedimientos de cálculo para el cortante con el efecto de plasticidad el cual se realiza de forma automática al seleccionar el botón de cálculo de acero transversal, recordando que este aplica únicamente para zona de amenaza sísmica intermedia y alta.

proyecto - Excel (Error de activación de productos)

Archivo Inicio Insertar Diseño de Presentación Referencias Programador

General Fuente Celdas Estilos de Celdas Estilos de Tablas

Formato condicional Dar formato Estilos de celdas Insertar Eliminar Formato

Autosuma Rellenar Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar

Borrar Modificar

O89

D E F G H I J K L M N O P Q R S T

75 **DISEÑO A CORTANTE**

76 **E CON FUERZAS GRAVITATORIAS** **CORTANTE CON EL EFECTO DE PLASTICIDAD**

77

78

79 L L<sub>b</sub>

80 77,02

81 V<sub>c</sub> > V<sub>ud</sub> V<sub>c</sub> < V<sub>ud</sub>

82

83 NO APLICA

84

85 en estribos de dos ramas

86

87

88

89 L L<sub>b</sub>

90

91

92

93

94 de refuerzo transversal por norma

Menu Inicial Hoja2 Hoja3 Hoja4 Hoja5 Hoja6

100%

Datos calculados para diseño de cortante plástico.

Calculo de los momentos por accion de vigas

Para calculo de los momentos se deben aplicar las siguientes ecuaciones según sea la zona de sismicidad en la que se vaya hacer el diseño

Zona de sismicidad	Ecuacion
Mínima	No Aplica
Intermedia	$M_n = \rho \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y \cdot \left(1 - 0.59 \cdot \rho \cdot \frac{f_y}{f_c}\right)$
Alta	$M_{pr} = \phi \cdot \rho \cdot b \cdot d^2 \cdot 1.25 \cdot f_y \cdot \left(1 - 0.59 \cdot \rho \cdot \frac{1.25 \cdot f_y}{f_c}\right)$

$\rho$  max suministrada = 0,0088  
 M (kN.m) = NO APLICA 115,16 NO APLICA

Calculo del cortante maximo de diseño (V<sub>e</sub>)

A continuación, podemos observar en una ilustración el proceso de desarrollo de cortante plástico.

### CORTANTE CON EL EFECTO DE PLASTICIDAD

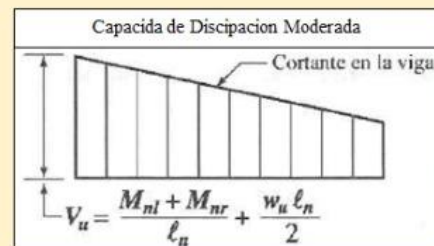
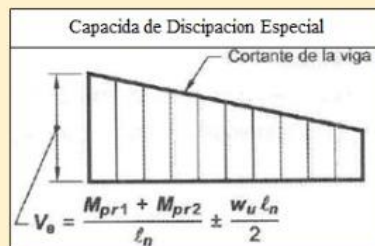
Calculo de los momentos por accion de vigas

Para calculo de los momentos se deben aplicar las siguientes ecuaciones según sea la zona de sismicidad en la que se vaya hacer el diseño

Zona de sismicidad	Ecuacion
Mínima	No Aplica
Intermedia	$M_n = \rho \cdot b \cdot d^2 \cdot f_y \cdot \left(1 - 0.59 \cdot \rho \cdot \frac{f_y}{f'_c}\right)$
Alta	$M_{pr} = \phi \cdot \rho \cdot b \cdot d^2 \cdot 1.25 \cdot f_y \cdot \left(1 - 0.59 \cdot \rho \cdot \frac{1.25 \cdot f_y}{f'_c}\right)$

	L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>
$\rho$ max suministrada =		0,0088	
M (kN.m) =	NO APLICA	115,16	NO APLICA

Calculo del cortante maximo de diseño (V<sub>e</sub>)



	L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>
V <sub>e</sub> (kN) =		58,72	
$\phi V_c$ (kN) =		77,02	
$\phi V_z$ (kN) =			

Separacion de estribos por cortante con estribos de dos ramas

$$s = \frac{\phi A_v \cdot f_y \cdot d}{\phi V_e}$$

	L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>
Estribo de 1/4" S(m) =			
Estribo de 3/8" S(m) =			
Estribo de 1/2" S(m) =			

Cuadro resumen separaciones por norma

	L <sub>a</sub>	L	L <sub>b</sub>
Seleccione el diametro de barra.	3/8	3/8	3/8
Distancia a la que $\phi V_c = V_e$ (m) =	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
Separacion maxima en zona confinada		0,11	
Separacion maxima en zona no confinada		0,15	



## 7. Glosario

- $\rho_{max}$ : Corresponde a la máxima cantidad de acero que se puede suministrar en una sección simplemente reforzada.
- $M_{max}$ : Corresponde al máximo momento actuante que puede soportar una sección simplemente reforzada.
- $M_u$ : Corresponde al momento actuante en la viga.
- $\rho$ : Corresponde a la cantidad de área de acero por área efectiva que se debe suministrar para soportar el momento actuante.
- $A_s$ : Área de acero
- $A_{smin}$ : Área de acero mínima.
- $V_{ud}$ : Corresponde al cortante último actuante en la viga a una distancia  $d$  de la cara del apoyo.
- $V_e$ : Corresponde al cortante de diseño el cual se obtiene mediante el cortante por cargas gravitacionales y el cortante sísmico.
- $d$ : Distancia medida desde la fibra más lejana a compresión hasta el eje neutro del acero a tracción.
- $d'$ : Distancia medida desde la fibra más lejana a compresión hasta el eje neutro del acero a compresión.
- $s$ : Separación máxima del acero transversal.
- $M$ : Momento sísmico generador de cortante en la viga.
- $\phi V_c$ : Contribución del concreto al esfuerzo cortante.
- $\phi V_s$ : Contribución del acero de refuerzo transversal al esfuerzo cortante.

- $\rho - \rho'_{min}$ : Cuantía mínima que se debe suministrar para el acero a tracción en una sección doblemente reforzada.
- $\rho - \rho'_{max}$ : Cuantía máxima que se debe suministrar para el acero a tracción en una sección doblemente reforzada.
- $\rho - \rho'$  : Cantidad de área de acero a tracción por área efectiva suministrada en una sección doblemente reforzada.
- $f_y$ : Resistencia a la fluencia del acero.
- $f'_c$ : Resistencia a la fluencia del concreto.
- $\phi$ : Coeficiente de reducción de resistencia.
- N4: Diámetro de varilla de 1/2"
- N3: Diámetro de varilla de 3/8"
- N5: Diámetro de varilla de 5/8"
- N6: Diámetro de varilla de 3/4"
- N7: Diámetro de varilla de 7/8"
- N8: Diámetro de varilla de 1"
- $\Delta_M$ : Diferencia del momento actuante y el momento máximo.



## **Apéndice E**

Establecer un algoritmo del procedimiento para la realización del diseño a flexión y cortante por el método de resistencia última, cumpliendo los requerimientos de la NSR-10, para la posterior digitación de código de programación.

