

MANUAL DE USUARIO

HOJA DE CALCULO PARA LA CONSTRUCCION DE
DIAGRAMAS MOMENTO-CURVATURA DE VIGAS EN
CONCRETO REFORZADO NO CONFINADO.

PREPARADO POR: DIEGO MAURICIO ISAZA ECHEVERRY

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, FACULTAD DE INGENIERIA

Control de Versiones

Version	Fecha	Descripcion	Autor
1.0	22/02/2024	Versión Inicial del Documento	Diego Mauricio Isaza Echeverry

Derechos de Autor: El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

La elaboración de este documento y sus diferentes componentes fueron elaborados por el autor en mención en la portada, razón por la cual los Derechos de Autor y en lo particular los derechos patrimoniales de este documento y su contenido pertenece exclusivamente a su autor. Por lo tanto, su uso y reproducción por terceros, está sujeto a la autorización de su autor en cumplimiento de la Ley 1915 de 2018 la cual modifica 23 de 1982 y demás que la modifican o adicionan. Siendo así, este documento está protegido por Derechos de Autor y no puede ser copiados, ni reproducidos, ni distribuidos por personas o Entidades diferentes a su autor.

TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETIVO	4
2. ALCANCE	4
3. TERMINOS Y DEFINICIONES	4
4. ¿QUÉ ES EL MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA?	6
5. INTRODUCCION	6
6. GENERALIDADES	7
7. DESCRIPCION HOJA DE CALCULO.....	9
7.1 Datos de entrada en la hoja Resultados	10
7.2 Como correr la hoja de calculo.....	14
7.3 Puntos de la curva y el diagrama momento-curvatura del caso	15
7.4 Resultados después de correr la hoja de calculo.....	16

TABLA DE IMÁGENES

Imagen 1. Hoja principal de Excel “Resultados”	8
Imagen 2. Datos iniciales de la geometría de las vigas (hoja Resultados).	8
Imagen 3. Datos iniciales de acero, carga y esfuerzos de acero y concreto (Hoja Resultados)	8
Imagen 4. Hoja de cálculo “casos de análisis” donde se ejecutan los cálculos de los diagramas (M,)	9
Imagen 5. Tabla donde se digitará la altura de la viga a diseñar, se observan las opciones que se tienen de la altura h	10
Imagen 6. Tabla donde se digitará el ancho de la viga a diseñar, se observan las opciones que se tienen del ancho b	11
Imagen 7. Tabla donde se digitará el recubrimiento de la viga a diseñar, se observan las opciones que se tienen del recubrimiento ds	11
Imagen 8. Tabla donde se digitará el diámetro de acero de la viga a diseñar, se observan las opciones que se tienen de los diámetros.	12
Imagen 9. Tabla donde se digitará la cantidad de refuerzo de la viga a diseñar, se observan las opciones que se tienen de la cantidad de acero.	12
Imagen 10. Tabla donde se digitará el f^{’c} de la viga a diseñar, se observan las opciones que se tienen del f^{’c}	12
Imagen 11. Tabla donde se digitará el f_y de la viga a diseñar, solo se tiene esa opción del acero.	13
Imagen 12. Tabla donde se digitará el f_y de la viga a diseñar, solo se tiene esa opción del acero.	13
Imagen 13. Botón de borrar datos “ BORRAR ”, inicia la hija de cálculo.....	14
Imagen 14. Botón de ejecutar hoja “ INICIAR ”, inicia la hija de cálculo.....	15
Imagen 15. Tabla de datos de puntos (M,) encontrados en la hoja de calculo para el análisis de las cuatro vigas.....	15
Imagen 16. Diagrama momento-curvatura de los cuatro puntos de la imagen 15, datos extraídos de la hoja de cálculo (Microsoft Excel).....	16

1. OBJETIVO

El Objetivo de este documento es brindar a los usuarios finales como estudiantes, profesores e ingenieros civiles de un manual en donde puedan ellos de una manera fácil y rápida construir diagramas de momento-curvatura en la hoja de cálculo (Microsoft Excel) de acuerdo a los parámetros geométricos del elemento y de las propiedades que se elijan para construir las curvas y así hacer análisis de elementos estructurales.

2. ALCANCE

Este documento describe el contenido siguiendo los estudios efectuados por los ingenieros Hognestad, Mander, Mark y Pauly etc., los cuales nos dan los parámetros matemáticos y analíticos de sus modelos constitutivos para poder construir los diagramas momento-curvatura. En el capítulo 7 se podrá observar más detalladamente todas las explicaciones que nos dan estos modelos acerca de los diagramas o curvas de esfuerzo-deformación del acero y concreto las cuales son base de la construcción de curvas.

3. TERMINOS Y DEFINICIONES

Este glosario ayudará a entender los términos, acrónimos y definiciones más usadas en el presente documento.

As	Acero transversal a tracción.
b	Base de la viga de sección rectangular.
c	Distancia medida desde la fibra extrema en compresión al eje neutro.
d	Distancia entre la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo transversal en tracción.
ds	Distancia de la base de la viga hasta el eje de acero transversal.
Ec	Modulo de elasticidad del concreto en la zona lineal.
Es	Modulo de elasticidad del acero.
f'c	esfuerzo máximo que resiste el concreto a compresión.

fc	Esfuerzo a compresión del concreto en cualquier punto de la curva.
fct	Esfuerzo del concreto a tracción antes de “fr”
fcu	Esfuerzo máximo del concreto a compresion en su punto de rotura.
fr	Esfuerzo máximo a tracción del concreto.
fs	Esfuerzo de tracción del acero en cualquier punto de la curva.
fsu	Esfuerzo máximo del acero a tracción en su punto de rotura.
fy	Esfuerzo del acero en instante de inicio de la fluencia.
h	Altura de la viga de sección rectangular.
ID	Cantidad de varillas de acero en la viga.
KN	Kilo Newton..
m	metros
Mcr	Momento máximo en rotura concreto a tracción.
M_{ext}	Momento externo aplicado en la viga.
mm	Milímetros.
Mpa	Mega pascales.
Mu	Momento ultimo de rotura curva momento curvatura.
Muc	Momento máximo en rotura concreto a compresión.
Mus	Momento máximo en rotura acero.
My	Momento máximo en zona de fluencia acero.
N	Newton.
P_{ext}	Carga externa axial aplicada en la viga.
Y̅	Cuantía acero transversal en viga. Distancia desde el punto de toma momentos al centroide de la curva de esfuerzos del concreto a compresión.
cr	Curvatura en zona donde es máximo el esfuerzo del concreto a tracción.
cu	Curvatura en zona de rotura del concreto.
su	Curvatura en zona de rotura del acero.

u	Es la curvatura correspondiente a la falla de la sección, es decir cuando el concreto alcanza su deformación de agotamiento " ϵ_{cu} ".
y	Curvatura en zona donde empieza la fluencia del acero.
ϵ_c	Deformación del concreto en cualquier punto de la curva.
ϵ_{cu}	Deformación del concreto en rotura " f_{cu} ".
ϵ_o	Deformación del concreto en su máximo esfuerzo " f'_c " en compresión.
ϵ_r	Deformación del concreto en su máxima esfuerzo " f_r " a tracción.
ϵ_s	Deformación del acero en cualquier punto de la curva.
ϵ_{sh}	Deformación unitaria del acero de refuerzo donde termina el esfuerzo de fluencia.
ϵ_{su}	Deformación del acero en rotura " f_{su} ".
ϵ_y	Deformación del acero en inicio de fluencia.

4. ¿QUÉ ES EL MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA?

El manual de usuario es el documento que permite a los estudiantes, profesores e ingenieros civiles que utilizan los sistemas de información como programas de diseño estructural u otro tipo de software matemáticos similares. En este caso se presenta una hoja de cálculo (Microsoft Excel), la cual le servirá a su usuario final el de dar conocer su funcionamiento, los aplicativos con las posibles soluciones a las incógnitas a las que se ven expuestos las personas en cualquier momento de su vida estudiantil y/o profesional para resolver diagramas de momento-curvatura.

5. INTRODUCCION

El siguiente manual está elaborado de manera sencilla y fácil con el fin de que los pasos que se presentan en el desarrollo de la construcción de las curvas momento-curvatura y que se explican en este documento puedan ser llevados a cabo y desarrollarlos de una forma rápida, ágil y sencilla para los operadores o usuarios que de esta hoja de cálculo se puedan favorecer, y que de los resultados que se obtengan de los análisis de las hojas de cálculo de calculo (Microsoft Excel), el

operador pueda obtener datos que le sirvan para analizar elementos estructurales tanto en la parte académica como en la vida real y/o profesional. El usuario podrá obtener resultados rápidos y confiables, los cuales le ayudaran a posibles análisis de estructuras sometidas a sismos y/o a revisar elementos estructurales puntuales en edificios sometidos a esfuerzos o sollicitaciones no diseñadas en el proyecto. Esta hoja de cálculo puede ser la base para análisis push-over que muy seguramente los ingenieros estructurales y académicos podrían utilizar día a día.

6. GENERALIDADES

Para la construcción de diagramas momento-curvatura en la hoja de cálculo de (Microsoft Excel) se han construido dos hojas básicas principales: la primera es la hoja representativa de los cuatro casos de análisis de las vigas reforzadas no confinadas llamada “**casos paramétricos**”, en la cual se construyeron con las ecuaciones constitutivas extraídas del análisis de cada punto de la curva momento-curvatura, datos que vienen a una hoja principal “**Resultados**” (**Imagen 1**). Esta hoja de “**casos paramétricos**” será la hoja auxiliar donde los datos iniciales se analizarán e iterarán los datos digitados en la hoja “**Resultados**”.

Por último, en la hoja “**casos paramétricos**”, encontraremos el proceso matemático y la construcción de la curva en la hoja de cálculo (Microsoft Excel), aquí se entregarán los puntos de (M, θ) y la construcción de la curva momento-curvatura.

Para el acero se utilizará el modelo elastoplástico o bilineal y para el concreto el propuesto por el ingeniero Hognestad.

Para la segunda hoja la cual tiene dos partes: la primera parte es la de introducir los datos iniciales de la geometría de la viga (**Imagen 2**) y de las propiedades del acero y del concreto como los datos de las cuatro vigas a analizar (**Imagen 3**) y segundo se entregarán los resultados obtenidos en las hojas de cálculo en particular de cada caso a analizar.

Por la sencillez de la hoja de cálculo solamente una hoja “**Resultados**” se usará como entrada de datos y para mostrar las soluciones obtenidas las cuatro vigas simultáneamente y poder hacer el análisis del gráfico con los diagramas de (M, θ) .

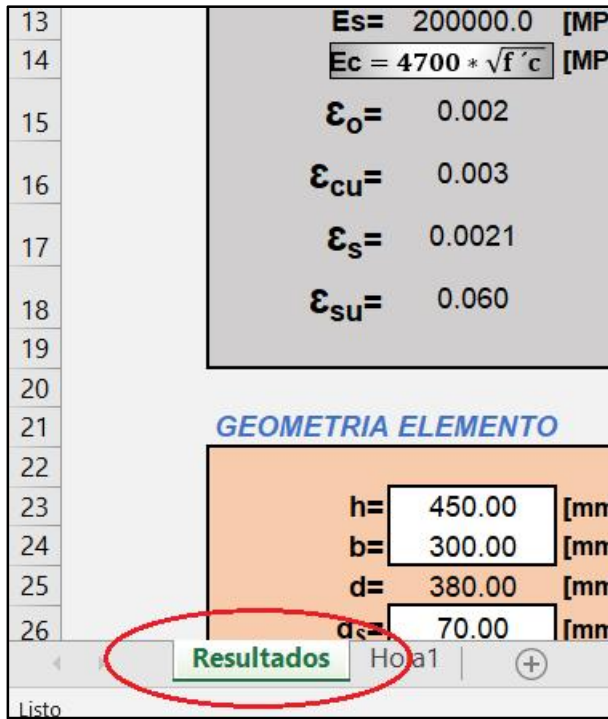


Imagen 1. Hoja principal de Excel "Resultados".

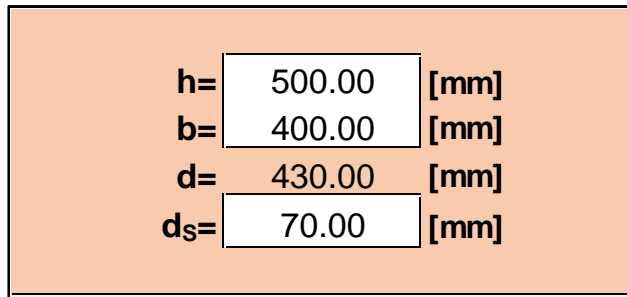


Imagen 2. Datos iniciales de la geometría de las vigas (hoja Resultados).

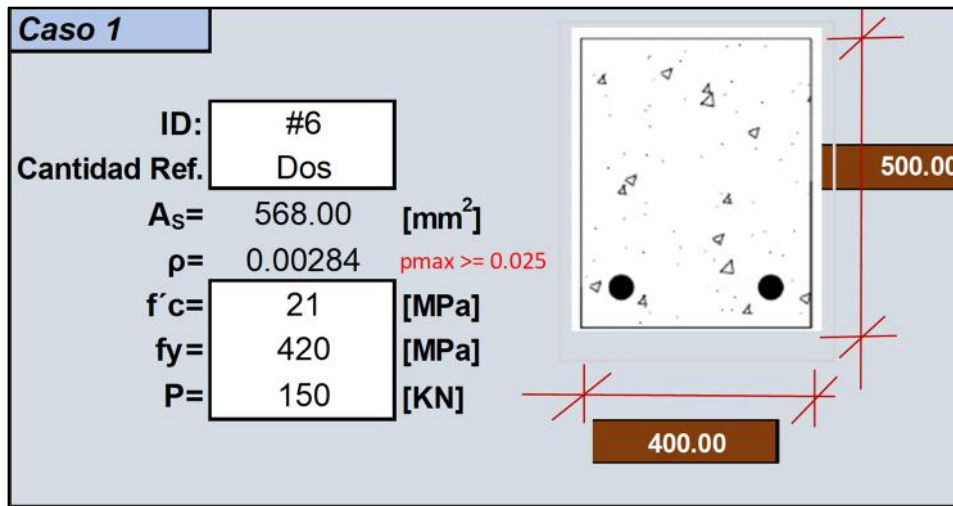


Imagen 3. Datos iniciales de acero, carga y esfuerzos de acero y concreto (Hoja Resultados)

7. DESCRIPCION HOJA DE CALCULO

La hoja de cálculo se llama **Momento-Curvatura aumento cargas.xlsm**, la cual podrá ser visualizada en **Microsoft Excel**, es importante tener en cuenta que la hoja de calculo esta grabada en el formato **(xlsm)** en donde se podrán activar macros programadas en la hoja de cálculo, el usuario deberá tener abierta la opción de solver o programador en (Microsoft Excel) para poder correr la hoja de cálculo.

El usuario notara que la hoja de cálculo (Microsoft Excel) para la construcción de diagramas de momento-curvatura solo tiene dos hojas, una para digitar datos "**Resultados**" y la otra hace los cálculos "**casos paramétricos**" (Imagen 4), solo se tendrá acceso a la hoja "**Resultados**".

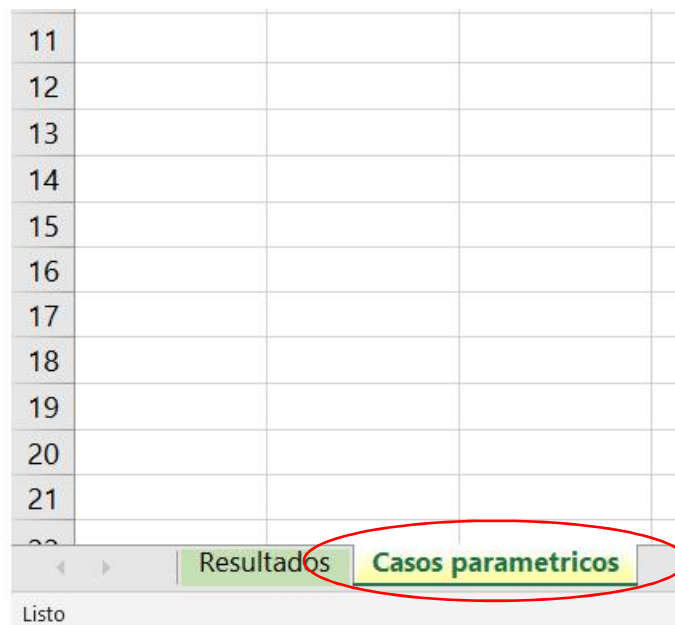


Imagen 4. Hoja de cálculo "casos de análisis" donde se ejecutan los cálculos de los diagramas
(M,)

En la hoja "**Resultados**" se podrán digitar los datos de entrada para cada caso de análisis de la viga, a la vez se podrán visualizar los resultados y en la hoja de "**casos paramétricos**" se recibirán los datos digitados por el usuario, aquí serán procesados matemáticamente de acuerdo a los modelos constitutivos utilizados y a los análisis matemáticos que se hayan efectuado, estos resultados se resumen en dos básicamente los cuales son la tabla de **(M,)** y la curva asociada a esta tabla.

7.1 Datos de entrada en la hoja Resultados

En la hoja de “**Resultados**” se podrán digitar todos los datos tanto de los materiales como de las propiedades de las cuatro vigas a analizar, a continuación, se explicará paso a paso como configurar la hoja de “**Resultados**”.

Al tener ya abierta la hoja de Excel se entrará a la hoja “**Resultados**” en la cual digitaremos o escogeremos según las opciones sugeridas en cada celda a cambiar los datos que se quieren digitar o introducir a la hoja de cálculo (Microsoft Excel) para que analice un tipo de caso de viga, este es el paso a paso:

-) En el cuadro de geometría del elemento se digitarán las dimensiones de la viga de concreto reforzada y no confinada a diseñar, recordar que a lado e la celda se encuentran las unidades en las cuales se harán los calculo matemáticos y con las que harán entregarán los diagramas de momento-curvatura. en este recuadro se tienen unos rangos de escogencia tanto para la altura **h** como para el ancho **b** de la viga, el recubrimiento **ds** también tiene un rango de escogencia. (Figuras 5, 6 y 7)

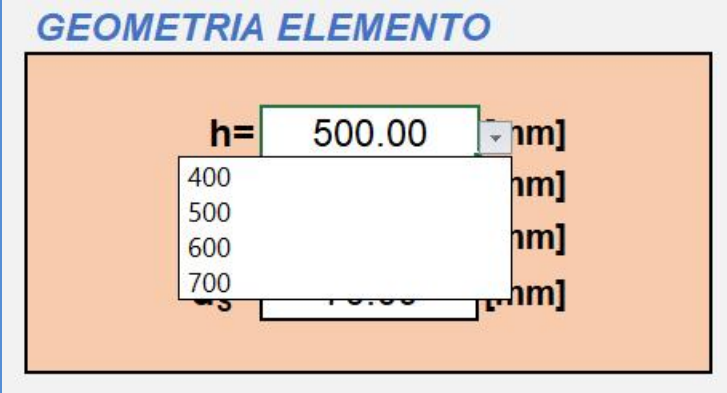


Imagen 5. Tabla donde se digitará la altura de la viga a diseñar, se observan las opciones que se tienen de la altura **h**.

GEOMETRIA ELEMENTO

h= 500.00 [mm]
b= 400.00 [mm]

300 [mm]
400 [mm]
500 [mm]
600 [mm]

Imagen 6. Tabla donde se digitará el ancho de la viga a diseñar, se observan las opciones que se tienen del ancho **b**.

GEOMETRIA ELEMENTO

h= 500.00 [mm]
b= 400.00 [mm]
d= 430.00 [mm]
d_s= 70.00 [mm]

50 [mm]
60 [mm]
70 [mm]

Imagen 7. Tabla donde se digitará el recubrimiento de la viga a diseñar, se observan las opciones que se tienen del recubrimiento **ds**.

) En el segundo recuadro o tabla digitaremos o escogeremos según las opciones que se tienen de las propiedades tanto del acero como del concreto el valor que se quiera analizar, para el acero solo se tiene un solo valor de resistencia debido a que se está utilizando el modelo bilineal, también se digitaran los diámetros del acero y la cantidad, hay las figuras se muestras las opciones que se tienen tanto de los diámetro como de la cantidad, en la celda para la carga externa si se podrá digitar el valor que se quiera, esta celda no tiene opciones. Se deberá recordar que la hoja de calculo solo es para análisis de vigas de concreto reforzada en tracción no confinada. **(Figuras 8, 9, 10, 11 y 12)**

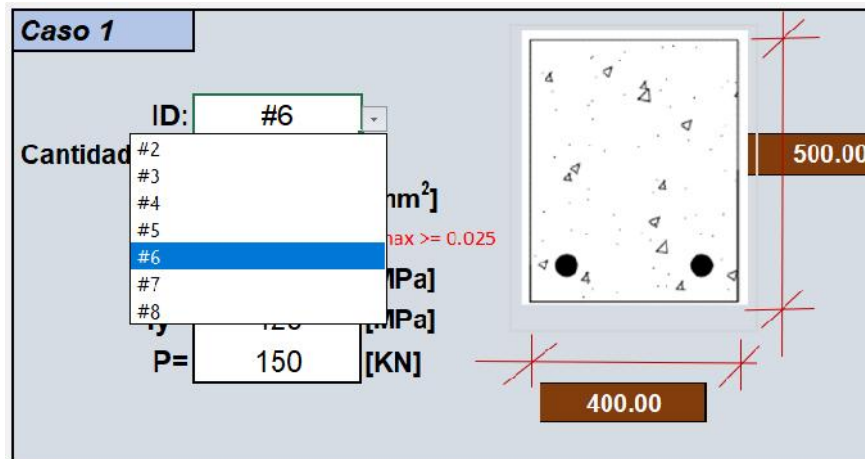


Imagen 8. Tabla donde se digitará el diámetro de acero de la viga a diseñar, se observan las opciones que se tienen de los diámetros.

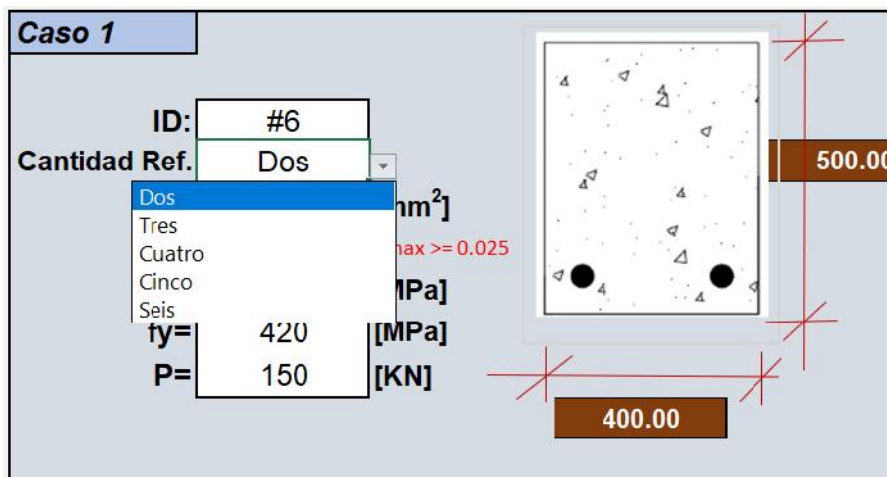


Imagen 9. Tabla donde se digitará la cantidad de refuerzo de la viga a diseñar, se observan las opciones que se tienen de la cantidad de acero.

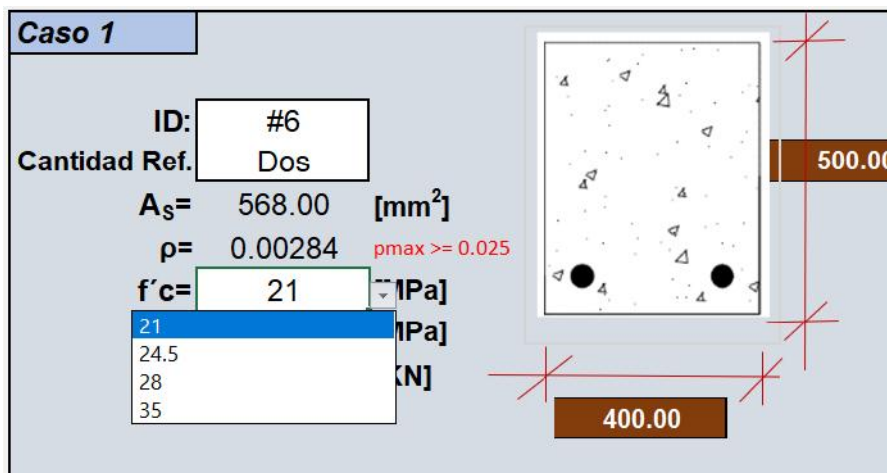


Imagen 10. Tabla donde se digitará el $f'c$ de la viga a diseñar, se observan las opciones que se tienen del $f'c$.

Caso 1	
ID:	#6
Cantidad Ref.	Dos
A_s =	568.00 [mm ²]
ρ =	0.00284 $\rho_{max} \geq 0.025$
$f'c$ =	21 [MPa]
f_y =	420 [MPa]
	420 [KN]

Imagen 11. Tabla donde se digitará el f_y de la viga a diseñar, solo se tiene esa opción del acero.

Caso 1	
ID:	#6
Cantidad Ref.	Dos
A_s =	568.00 [mm ²]
ρ =	0.00284 $\rho_{max} \geq 0.025$
$f'c$ =	21 [MPa]
f_y =	420 [MPa]
P=	150 [KN]

Imagen 12. Tabla donde se digitará el f_y de la viga a diseñar, solo se tiene esa opción del acero.

Estos serian todos los datos que el usuario deberá introducir o digitar en esta hoja “**Resultados**”, el usuario deberá ser muy analítico y ágil para que antes de correr la hoja de cálculo (Microsoft Excel) revise muy bien los datos que se digitaron con el fin de que la hoja de cálculo funcione correctamente y los resultados sean los esperados o por lo menos estén acordes a lo que se espera como resultado lógico, estos datos a digitar es importante recordarle al usuario que se deberán hacer para cada caso de viga.

7.2 Como correr la hoja de calculo

Como la hoja de cálculo está diseñada bajo (**xlsm**) se deberá recordar que para que funcione correctamente y corra el programa, la hoja de cálculo (Microsoft Excel) deberá estar activada la función Solver o Programación.

Después de digitar todos los datos de entrada tanto de materiales como los datos específicos de cada viga, se deberá clickear o pulsar en la hoja “**Resultados**” en cada de caso de viga el botón **BORRAR** (Imagen 13) así se reinicia la hoja de cálculo para cada caso y se borrarán datos y toda la hoja quedara en stand-by o en espera, el paso a seguir el pulsar la botonera que dice **INICIAR** (Imagen 14) para cada caso de viga, al pulsar este botón la hoja de cálculo (Microsoft Excel) iniciara todo el proceso de cálculos internamente y entregar en segundos los datos que se requieren para dibujar las curvas de momento-curvatura de cada caso, la hoja de cálculo (Microsoft Excel) ejecutara según los análisis de deformación y esfuerzos de cada caso y esto de acuerdo a los modelos constitutivos tenidos en cuenta para esta hoja de cálculo.

Recordar que los dos pasos anteriores se deberán ejecutar en las cuatro hojas de casos seguidamente, una a una.

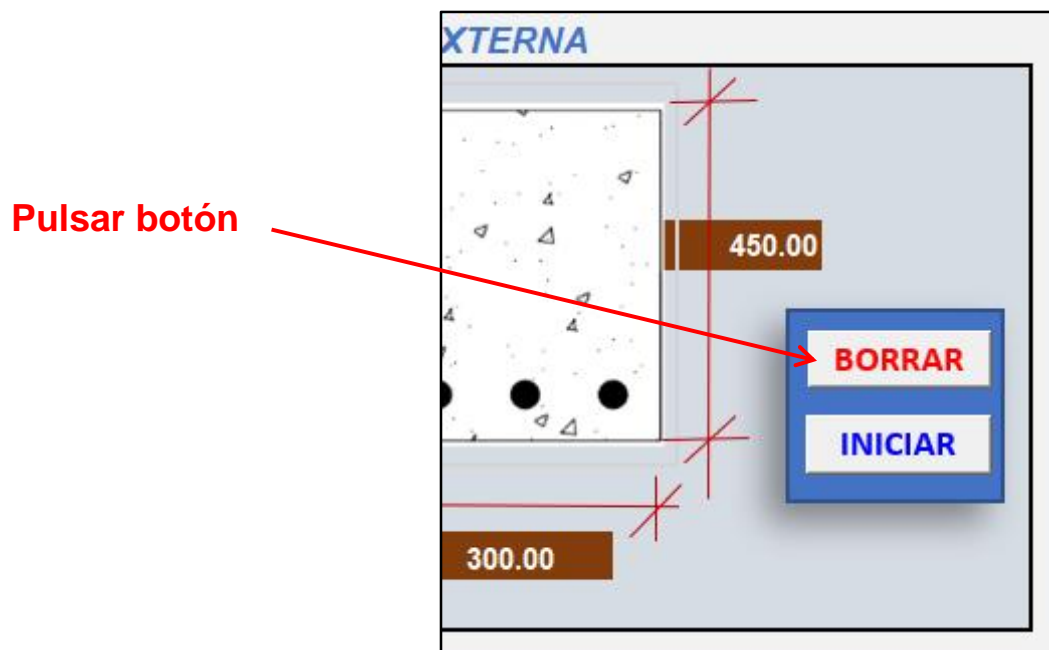


Imagen 13. Botón de borrar datos “**BORRAR**”, inicia la hoja de cálculo.

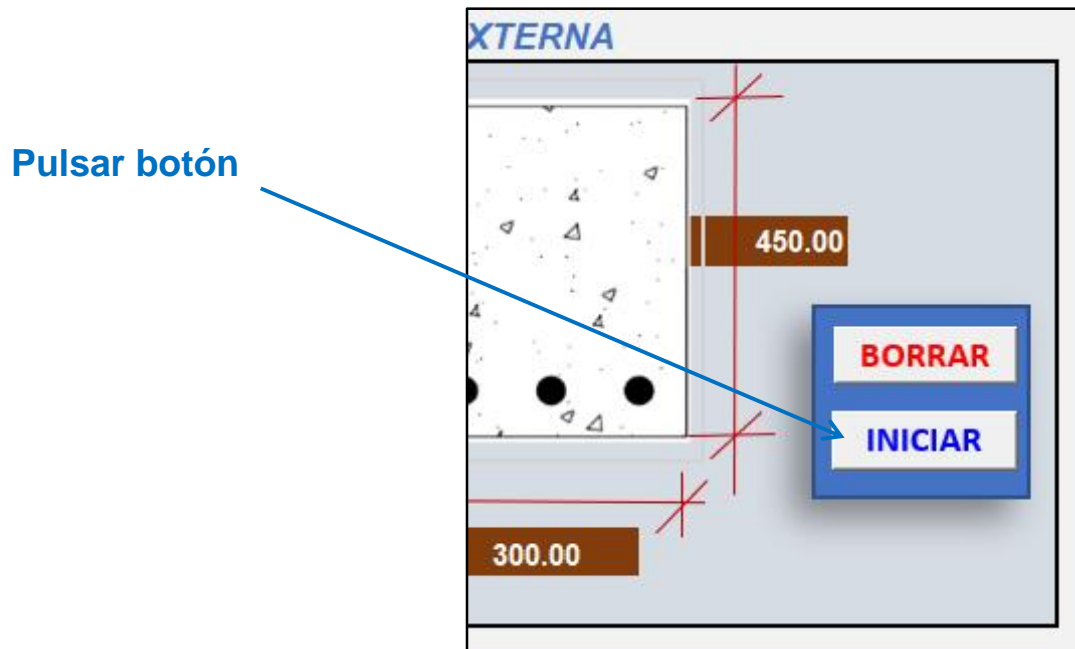


Imagen 14. Botón de ejecutar hoja "INICIAR", inicia la hija de cálculo.

7.3 Puntos de la curva y el diagrama momento-curvatura del caso

A continuación, se muestran los cuatro puntos que se pueden encontrar en la hoja de cálculo de (Microsoft Excel) (Imagen 15) para construir los diagramas de momento-curvatura de los cuatro casos de viga a analizar y seguidamente se observa el diagrama de momento-curvatura simultáneos de las cuatro vigas (Imagen 16).

Caso 1				Caso 2			
	M [MPa]		Φ [Km ⁻¹]		M [MPa]		Φ [Km ⁻¹]
M(0)	0.00	$\Phi(0)$	0.00	M(0)	0.00	$\Phi(0)$	0.00
M _{cr}	35.85	Φ_{cr}	0.56	M _{cr}	42.87	Φ_{cr}	0.69
M _y	146.40	Φ_y	8.02	M _y	162.14	Φ_y	8.46
M _{cu}	151.73	Φ_{cu}	43.68	M _{cu}	167.79	Φ_{cu}	34.72

Caso 3				Caso 4			
	M [MPa]		Φ [Km ⁻¹]		M [MPa]		Φ [Km ⁻¹]
M(0)	0.00	$\Phi(0)$	0.00	M(0)	0.00	$\Phi(0)$	0.00
M _{cr}	53.39	Φ_{cr}	0.89	M _{cr}	63.84	Φ_{cr}	1.08
M _y	184.18	Φ_y	9.11	M _y	204.16	Φ_y	9.80
M _{cu}	189.11	Φ_{cu}	26.55	M _{cu}	207.00	Φ_{cu}	21.52

Imagen 15. Tabla de datos de puntos (M, Φ) encontrados en la hoja de calculo para el análisis de las cuatro vigas.

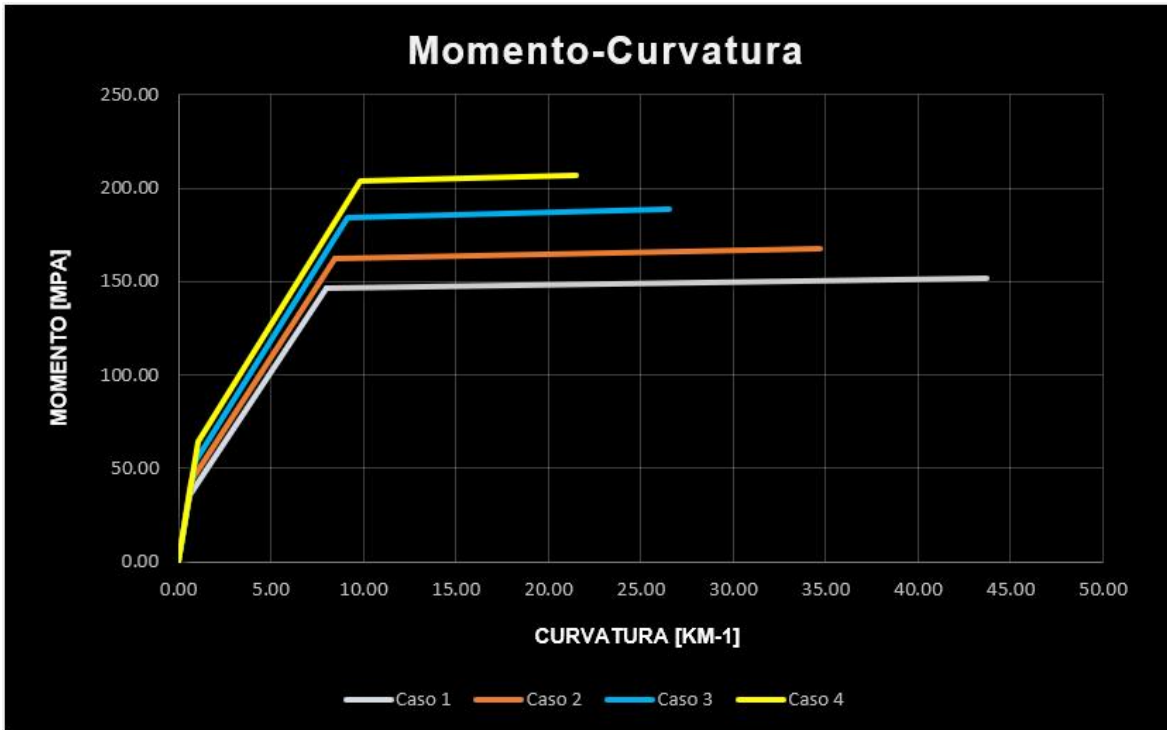


Imagen 16. Diagrama momento-curvatura de los cuatro puntos de la imagen 15, datos extraídos de la hoja de cálculo (Microsoft Excel).

Los datos de la tabla (**Imagen 15**) y el gráfico de momento curvatura (**Imagen 16**) que fueron extraídos de la hoja de cálculo y están en la hoja “**Resultados**” son el resultado de las cuatro vigas de análisis, este gráfico con los puntos de (M, θ) serán de mucha importancia para el análisis de las vigas que se está estudiando o diseñando.

7.4 Resultados después de correr la hoja de calculo

Los resultados obtenidos de la hoja de cálculo después de correr los cuatro casos serán leídos en la hoja de “**Resultados**” en esta hoja se podrá apreciar que se tienen en una sola tabla los cuatro cuadros de los puntos de (M, θ) de cada caso (**Imagen 15**) y también se podrá observar que en el gráfico de momento-curvatura están las cuatro curvas juntas (**Imagen 16**), en donde se podrá apreciar muy claramente cómo se comportan y cuales serán los análisis a efectuar de estas.