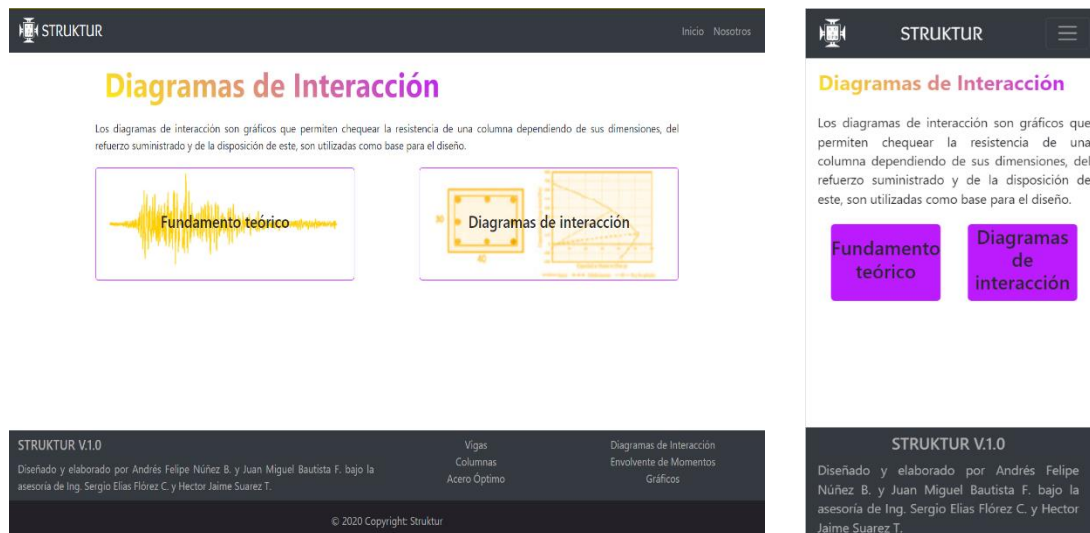


GUÍA – DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN

El presente módulo facilita al usuario la creación de un diagrama de interacción característico de columnas con hasta 6 filas de refuerzo, al ingresar a dicho módulo desde la pantalla inicio, se despliega una ventana con la posibilidad de elección del usuario de acceder al apartado “Fundamento teórico” y “Diagramas de interacción”.




- **FUNDAMENTO TEÓRICO**

Este apartado cuenta con una explicación teórica de cómo construir un diagrama de interacción y del comportamiento de las columnas según la carga axial que se le aplica, el momento flector y su excentricidad, cuenta con una explicación general y el contenido referente a las zonas y tipos de falla que pueden producirse en la columna:

- ✓ Falla balanceada.
- ✓ Falla a tracción.
- ✓ Falla a compresión.

- **DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN**

Este apartado dispone de una rutina para la creación de diagramas de interacción para columnas con hasta 6 filas de refuerzo, tal como se observa a continuación, para lo que se deben suministrar datos de entrada necesarios:


[Inicio](#)
[Nosotros](#)

Diagramas de Interacción

Datos de Entrada

F1	B1
0	0
F2	B2
0	0
F3	B3
0	0
F4	B4
0	0
F5	B5
0	0
F6	B6
0	0

b (cm)h (cm)

recubrimiento (cm)



f'c 210 (kg/cm²) •

fy 4200 (kg/cm²) •

E (kg/cm²)2000000

β10.85

Calcular


STRUKTUR


Diagramas de Interacción

Datos de Entrada

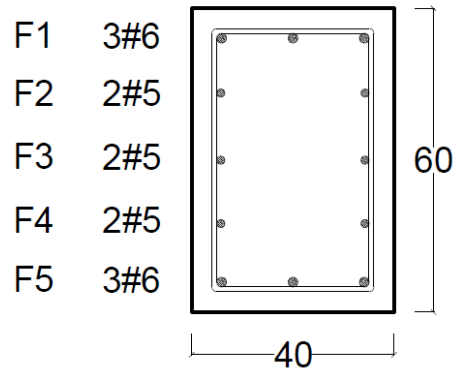
F1	B1
0	0
F2	B2
0	0
F3	B3
0	0
F4	B4
0	0
F5	B5
0	0
F6	B6
0	0

b (cm)h (cm)

recubrimiento (cm)

A continuación, se propone un ejemplo, el cual será detallado en esta guía, ya que el software fue pensado para realizar los cálculos de manera interna y arrojar el diagrama terminado, que permite apreciar el rango de cargas y momentos para los cuales se puede diseñar una columna con las dimensiones y datos suministrados.

Datos del ejemplo:



$$f'_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\beta_1 = 0.85$$

$$b = 40 \text{ cm}$$

$$h = 60 \text{ cm}$$

$$Rec = 4 \text{ cm (NSR - 10, Sec. C. 7.7.1)}$$

✓ **Ingreso de datos:**

▪ **Geometría y disposición del acero**

La ventana de ingreso de los datos de entrada requiere el ingreso ORGANIZADO de los datos de disposición de las barras de acero, en este caso se cuenta con una columna con 5 filas de refuerzo, en la celda correspondiente a la variable F_n , se debe insertar el número de barras que presenta dicha fila y en la celda B_n se dispone la designación de la barra (Para barras N1 → INSERTAR "1"), en caso de no presentar filas, el software de manera predeterminada da el valor de cero (0), el cual no debe ser modificado ni borrado, Acto seguido se ingresan los datos de b (Menor

dimensión), h (Mayor dimensión) y del recubrimiento, tal como se dispone a continuación, tomando como base la figura del ejemplo para mayor entendimiento:

F1	B1
3	6
F2	B2
2	5
F3	B3
2	5
F4	B4
2	5
F5	B5
3	6
F6	B6
0	0
b (cm)	h (cm)
40	60
recubrimiento (cm)	
4	

▪ Materiales

Luego de ingresar los datos geométricos, que requieren tal vez un poco más de cuidado, se ingresan de manera sencilla los datos propios de los materiales (f'_c , f_y , β_1 y E), los cuales cuentan con valores predeterminados suministrados por los desarrolladores.

f'_c 210 (kgf/cm ²) ▼	
f_y 4200 (kgf/cm ²) ▼	
E kgf/cm ²	β_1
2000000	0.85

Cumplido este paso, se selecciona el botón “Calcular”.

Datos de Entrada

F1	B1
3	6
F2	B2
2	5
F3	B3
2	5
F4	B4
2	5
F5	B5
3	6
F6	B6
0	0
b (cm)	h (cm)
40	60
recubrimiento (cm)	
4	
f'c 210 (kgf/cm ²) ▼	
fy 4200 (kgf/cm ²) ▼	
E kgf/cm ²	β1
2000000	0.85

Calcular

Como resultado se obtiene un análisis organizado de los datos ingresados, además de arrojar la designación de la barra de los estribos que depende de la designación de las barras longitudinales según NSR-10, Sec.C.7.10.5.1:

Diagramas de Interacción

Datos de Entrada

F1	B1
3	6
F2	B2
2	5
F3	B3
2	5
F4	B4
2	5
F5	B5
3	6
F6	B6
0	0
b (cm)	h (cm)
40	60
recubrimiento (cm)	
4	
f'c 210 (kgf/cm ²) ▼	
fy 4200 (kgf/cm ²) ▼	
E kgf/cm ²	β1
2000000	0.85

Calcular

Filas

5 filas

Cantidad de barras asignadas por fila

Fila 1: 3 Barras *N6*

Fila 2: 2 Barras *N5*

Fila 3: 2 Barras *N5*

Fila 4: 2 Barras *N5*

Fila 5: 3 Barras *N6*

Estribo: *N3*

Areas y d

$A_g = 2400.0$

$A_{ss} = 28.977$

$\rho = 0.0121$

Fila 1: $d = 5.905$

Fila 2: $d = 17.953$

Fila 3: $d = 30.0$

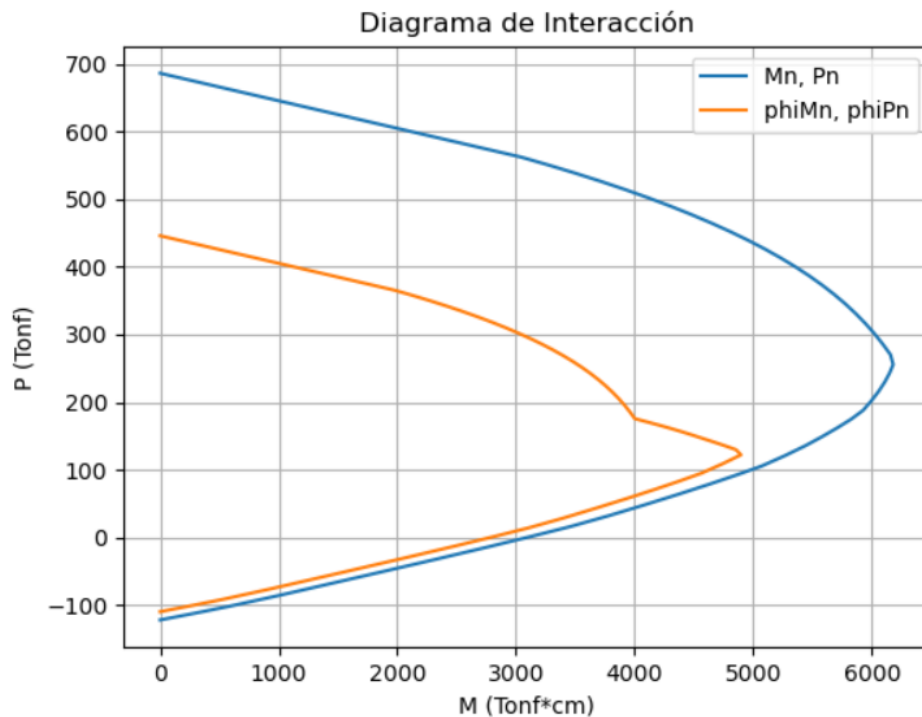
Fila 4: $d = 42.048$

Fila 5: $d = 54.095$

Mostrar Diagrama

También realiza el cálculo de algunos factores como el área bruta (A_g), el área de acero suministrado (A_{ss}), la cuantía (ρ) y las distancias efectivas hasta el borde extremo a compresión de la sección transversal de la columna (d).

Finalmente, el software ejecuta la rutina de cálculo y al presionar el botón “Mostrar Diagrama”, se aprecia el diagrama característico para la columna con la geometría y materiales insertada:



Este diagrama muestra los valores máximos de resistencia de la columna, que se conforman por combinaciones de carga axial y momentos flectores, así como la resistencia corregida por un factor de reducción ϕ (φ), exigido para el diseño de estos elementos.

✓ **BONUS**

Finalmente, para aquellos curiosos que han llegado hasta este punto de la guía, se realiza una síntesis de los pasos necesarios para calcular dicho diagrama.

- **Puntos extremos.**

Estos puntos extremos del diagrama de interacción simulan por un lado la carga mínima ($P_{n,min}$), la cual se da cuando el elemento se encuentra controlado

completamente por la tracción. Al encontrarse el último punto en una tracción absoluta, se ubica dicho punto para una combinación de momento nulo y de carga axial igual al producto del módulo de elasticidad del acero y el área total de acero de la sección transversal de la columna:

$$P_n = f_y * A_{s\ TOTAL}$$

$$M_n = 0$$

Por otro lado, la carga máxima ($P_{n.máx}$), que es un caso hipotético en el que el elemento trabaja a compresión pura, también con un Momento nulo ($M_n=0$) ya que se garantiza así la mayor y menor carga respectivamente, satisface la siguiente ecuación y arroja la pareja ordenada que será graficada.

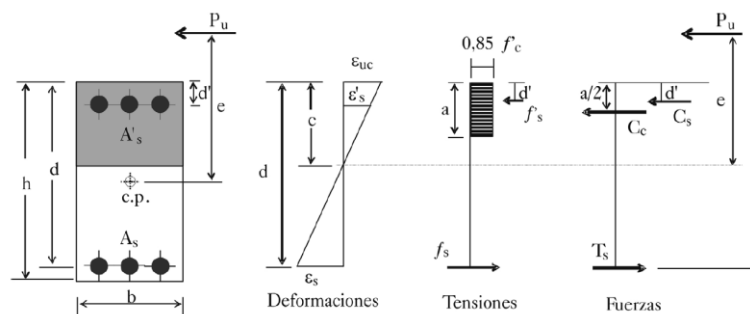
$$P_n = 0.85f'_c(A_g - A_{s\ total}) + f_y A_{s\ total}$$

$$M_n = 0$$

○ Puntos internos del diagrama.

Para observar cómo varía la resistencia de la columna, se programó la rutina para que calculara de manera organizada un conjunto de parejas de momentos y cargas dependiendo de los datos ingresados del elemento, dicha rutina sigue los siguientes pasos, teniendo en cuenta que para conocer el comportamiento del elemento se repite la rutina un número de veces tal que se produzca un gráfico más cercano a la realidad con distintas variaciones de la profundidad del eje neutro “c” (50 puntos).

✓ ϵ_s :



Ya ingresados todos los datos, es importante el cálculo de la deformación unitaria del refuerzo, este dato es calculado para cada fila de barras de la misma forma, con ayuda de la, se aplica una semejanza de triángulos y se obtiene la ecuación:

$$\varepsilon_s = \frac{c - d}{c} * 0.003$$

✓ **f_s:**

Acto seguido del cálculo de la deformación unitaria de cada una de las filas, se procede a calcular el esfuerzo aplicado en las mismas, teniendo en cuenta que el esfuerzo se define como el producto entre el módulo de elasticidad del material y la deformación unitaria de este:

$$f_s = E * \varepsilon_s$$

Este valor debe ser corregido ya que el esfuerzo debe considerarse máximo como el esfuerzo fluencia f_y , para que se mantenga en las condiciones requeridas, por lo que se programa de la siguiente manera:

$$\rightarrow \text{Si } f_s < -f_y \text{ entonces } f_s = -f_y$$

$$\rightarrow \text{Si } f_s > f_y \text{ entonces } f_s = f_y$$

$$\rightarrow \text{Si } -f_y < f_s < f_y \text{ entonces } f_s = E * \varepsilon_s$$

✓ **F_c:**

Ya obtenido el valor de cada uno de los esfuerzos por fila de barras (f_s), Se procede a calcular el valor de la fuerza en el concreto, el cual satisface a la ecuación:

$$F_c = 0.85 * f'_c * \beta_1 * c * b$$

Se asume 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 recta paralela al eje neutro, a una distancia $a = \beta_1 c$ de la fibra de deformación unitaria máxima en compresión (NSR-10. Sec.C.10.2.7.1).

✓ **F_s:**

De igual manera se calcula la fuerza soportada por el acero, que es el producto del esfuerzo por el área de acero de cada una de las filas por separado.

$$F_s = f_s * A_{s\ fila}$$

✓ **P_n:**

Para hallar la carga nominal que resiste el elemento simplemente se programó la suma del aporte de cada uno de los aceros por fila y el aporte del concreto.

$$P_n = F_c + \sum F_s$$

✓ **J_c y J_i:**

Estos son los brazos de dichas cargas que dependen de la profundidad al eje neutro y del número de filas de refuerzo y sus alturas efectivas.

De la figura anterior pueden deducirse, obteniendo así las distancias perpendiculares hasta el punto de aplicación de la carga con respecto al material, ya que el primero se calcula con respecto al bloque de concreto y el segundo con respecto a cada una de las filas de barras:

$$j_c = \frac{h}{2} - \beta_1 * c/2$$

$$j_i = \frac{h}{2} - d_i$$

✓ **M_n:**

Finalmente se calcula el momento nominal que resiste el elemento, como el producto de la fuerza por la distancia perpendicular a la superficie de aplicación de esta:

$$M_n = F_c * j_c + \sum F_s * j_i$$

Estos pasos anteriores son realizados para cada uno de los elementos con distintos valores de profundidad del eje neutro c .

Luego de este punto, el software almacena en listas cada uno de los datos calculados anteriormente para 50 distintos valores de c , lo que procede es el cálculo de las parejas ordenadas que serán graficadas, teniendo en cuenta que una de ellas ya fue hallada (M_n, P_n), pero para que el gráfico de interacción sea útil debe aún tenerse en cuenta el factor de seguridad, implementando el uso de phi (φ). Los siguientes cálculos que llevó a cabo la rutina se organizan de la siguiente manera:

✓ **ε_t :**

En la *figura 6* se evidencia la dependencia del factor phi (φ) de la deformación unitaria neta de tracción en el acero extremo en tracción, es decir la deformación unitaria del acero ε_s , en la última fila de barras, para lo que se pidió suministrar dichos datos de manera organizada.

La rutina realiza la selección de dicho dato para cada elemento calculado con distinto valor de c y lo nombra ε_t , del cual va a depender phi (φ).

✓ **Phi (ϕ):**

Según la figura anterior, y ya teniendo los valores de deformación unitaria en el extremo máximo de tracción se aplica lo estipulado en la NSR-10 Fig. CR9.3.2.

→ Si $\varepsilon_t \leq |0.002|$ entonces $\varphi = 0.65$

→ Si $|0.002| \leq \varepsilon_t \leq |0.005|$ entonces $\varphi = 0.65 + (\varepsilon_t - 0.002)(250/3)$

→ Si $\varepsilon_t \geq |0.005|$ entonces $\varphi = 0.9$

✓ ϕP_n y ϕM_n :

Ya recopilados los datos de cada elemento, se realiza el producto del momento nominal y la carga por el factor de reducción phi (ϕ), estas parejas son graficadas en un plano cartesiano cuyo eje X representa momentos y el eje Y representa cargas y se obtiene el reconocido diagrama de interacción.