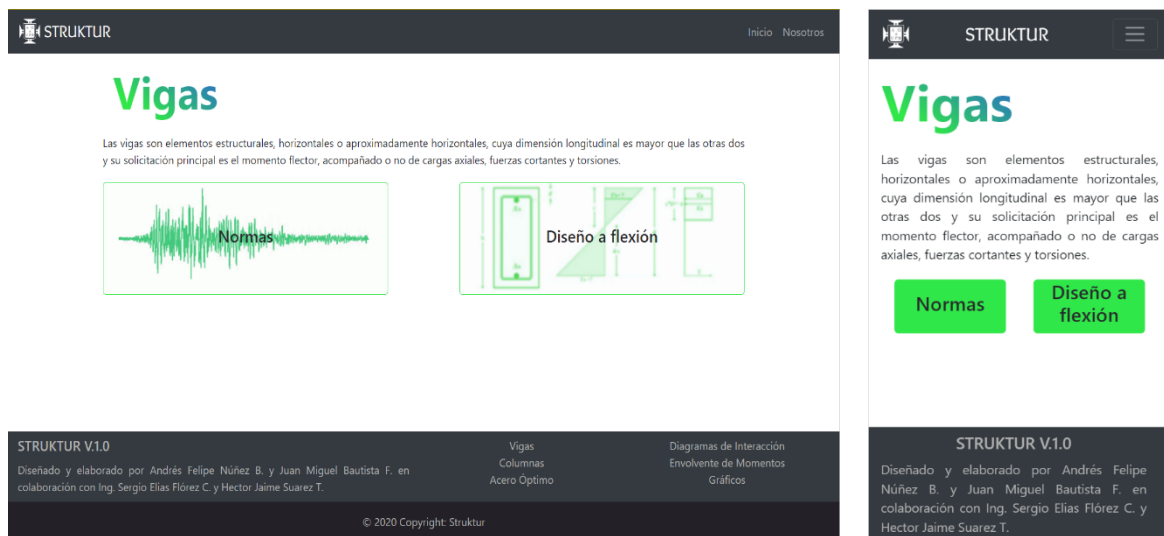


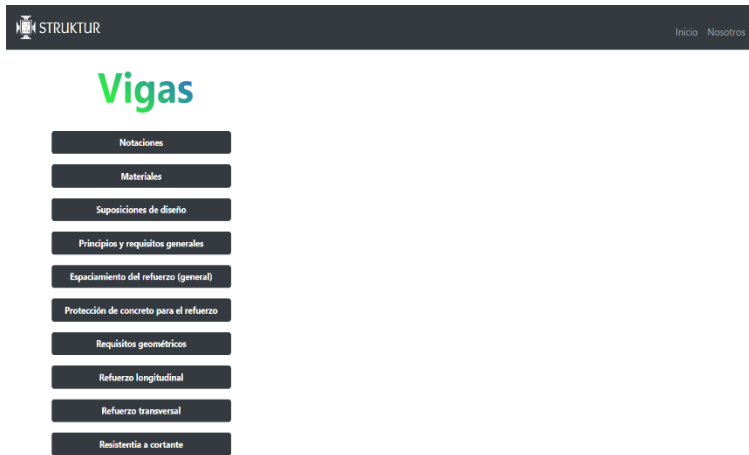
GUÍA – MÓDULO DE VIGAS

El presente módulo muestra al estudiante la facilidad de encontrar las temáticas correspondientes al diseño de vigas de concreto reforzado, al ingresar a dicho módulo desde la pantalla inicio, se despliega una ventana con la posibilidad de elección del usuario de acceder al apartado “Normas” y “Diseño a flexión”.



- **NORMAS**

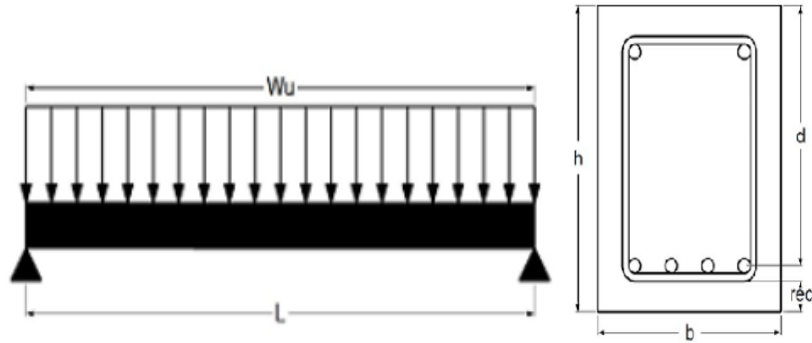
Este apartado cuenta con requerimientos plasmados en la NSR-10 para el diseño de vigas de manera organizada, acompañada de sus notaciones para la comprensión sencilla facilitando la interacción del estudiante con la aplicación, además cada artículo cuenta con etiquetas de referencia por si se desea profundizar con la norma, tener una referencia directa a la cual recurrir:



- **DISEÑO A FLEXIÓN**

Este apartado dispone de una rutina interactiva para el diseño de vigas rectangulares simplemente reforzadas a flexión, tal como se observa a continuación, para lo que se deben suministrar datos de entrada necesarios, además se proponen datos predeterminados como recomendaciones para que el usuario tenga una base.

La mejor forma de mostrar el funcionamiento del aplicativo es plasmando un ejemplo y evaluando todas las posibles opciones, para esto, se tomará una viga con las siguientes ecuaciones y se explicará paso a paso el proceso del ingreso de datos.



Datos del ejemplo:

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

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

$$CD = 1.0 \text{ Tf}$$

$$CL = 1.7 \text{ Tf}$$

$$L = 4.9 \text{ m}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

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

$$\epsilon_c = 0.003 \text{ (NSR - 10, Sec. C. 10.3.3)}$$

$$\phi = 0.9 \text{ (Supuesto)}$$

$$\text{Tamaño máx del agregado} = 1 \text{ plg}$$

Se ingresan los datos de la siguiente manera:

✓ **Tipo de carga:**

Tipo de carga ▼
Tipo de carga
CD y CL
Wu

✓ Elección de preferencias en el cálculo:

¿Cómo calcular la cuantía?	▼	¿Cómo calcular el acero?	▼
¿Cómo calcular la cuantía?		¿Cómo calcular el acero?	
Con tablas de cuantia		Con tabla de áreas	
Con fórmula		Cálculo automático	

Al ser una herramienta educativa, es importante que el usuario interactúe de manera directa con el aplicativo, en este punto tiene la opción de decidir cómo calcular la cuantía o proporción de acero con respecto a la totalidad del elemento y cómo calcular el área de acero.

La rutina está diseñada de tal manera que se calcule con tablas de cuantías y de áreas de acero, tal como suele realizarse en clases presenciales o aplicando directamente la fórmula de cuantías, para arrojar la cuantía de manera automática por el software, en este ejemplo se selecciona el primero de los casos, que, al ser más interactivo, requiere un par de pasos adicionales en los que el usuario debe participar, en el caso de elegir las otras opciones, el software realiza el cálculo internamente y arroja resultados, acompañados de igual forma de una explicación detallada para su comprensión.

Luego de haber ingresado todos los datos del ejemplo, tal como se presenta a continuación, se procede a elegir el botón “Calcular”:

Datos de Entrada

CD y CL

▼

Simplemente apoyado

▼

f'c 210 (Kgf/cm²)

▼

fy 4200 (Kgf/cm²)

▼

L (m)

4.9

b (cm)

30

h (cm)

50

φ (phi)

0.9

ec

0.003

rec (cm)

4

tamaño max agregado (plg)

1

Con tablas de cuantia

▼

Con tabla de áreas

▼

Calcular

Al calcular, la aplicación arroja de manera organizada los pasos necesarios para el diseño del elemento, acompañado de explicaciones enfocadas a la enseñanza del proceso (Se dispone de un botón de encendido para mostrar u ocultar las explicaciones, para aquellos que ya manejan el tema sólo visualizar los cálculos realizados).

Mostrar texto

El resultado se plasma a continuación, con el cálculo de la magnitud de la carga uniforme W_u , la determinación del factor de seguridad adoptado. Para la cuantía que cumpla con las condiciones límites, se halla el valor de β_1 , se obtiene el momento último y la distancia d , acto seguido determina el factor k_u , que relaciona el momento último de la viga con las dimensiones del elemento, que será utilizado posteriormente para seleccionar la cuantía que se debe adoptar.

1 Determinar la magnitud de la carga uniforme

En este paso seleccionamos o calculamos una carga uniforme W_u

Al calcular W_u utilizando carga muerta (CD) y carga viva (CL), utilizaremos los factores de seguridad establecidos en la ecuación (NSR-10, Sec. B.2.4-2), omitiendo para este caso (solo por fines académicos) las cargas F , T , H , L_r , G y L_e (véase sus definiciones en NSR-10, Sec. B.2.2)

$$W_u = (1.2 * CD) + (1.6 * CL)$$

$$W_u = (1.2 * 1.0) + (1.6 * 1.7)$$

$$W_u = 3.92 [Tf/m]$$

Determinamos el factor de seguridad total

$$FS = \frac{W_u}{CD + CL} \div \phi$$

$$FS = \frac{3.92}{1.0 + 1.7} \div 0.9$$

$$FS = 1.613$$

2 Hallar el Momento último

Para vigas simplemente apoyadas, M_u se calcula dividiendo $W_u * L^2$ entre 8. (consulte 'Momentos en vigas')

$$M_u = \frac{W_u * L^2}{8}$$

$$M_u = \frac{3.92 * 4.9^2}{8}$$

$$M_u = 11.7649 [Tf * m]$$

3 Determinar el factor β_1

Este es el factor que relaciona la profundidad de la zona en compresión con la profundidad del eje neutro. Su valor se determinó experimentalmente y este varía dependiendo al valor de f'_c (véase NSR-10, Sec. C.10.2.7.3)

$$\text{Si } (280 \geq f'_c \geq 170)$$

$$\rightarrow \beta_1 = 0.85$$

$$\text{Si } (560 > f'_c > 280)$$

$$\rightarrow \beta_1 = 0.85 - \left(\frac{0.05}{70} * (f'_c - 280) \right)$$

$$\text{Si } (560 \leq f'_c)$$

$$\rightarrow \beta_1 = 0.65$$

Por lo tanto para $f'_c = 210$

$$\beta_1 = 0.85$$

4

Calcular la cuantía

Primero debemos determinar la longitud d , restandole a la altura de la viga h , la distancia de la fibra extrema en tracción al centroide de las barras longitudinales en tracción d_c

(La definición de d_c no está establecida en la nsr-10, esta ha sido adoptada por STRUKTUR para facilitar la explicación del cálculo de d)

Inicialmente se asume que $d_c = rec + 2$, pero luego este valor será recalculado.

$$d = h - d_c$$

$$d = 50.0 - 5.8641$$

$$d = 44.1359[cm]$$

Luego determinamos el valor de k_u , el cual usaremos para entrar en las tablas de cuantía o calcularla usando la fórmula

$$k_u = \frac{M_u * 10^5}{b * d^2}$$

$$k_u = \frac{11.7649 * 10^5}{30.0 * 44.1359^2}$$

$$k_u = 20.132[kgf/cm^2]$$

La cuantía mínima (véase NSR-10, C.10-3)(ver conversión de unidades a mks en NSR-10, Apéndice C-F, C.10-3) es la mayor entre:

$$(\rho_{min1} = \frac{0.8\sqrt{f'_c}}{f_y}) \text{ y } (\rho_{min2} = \frac{14}{f_y})$$

$$(\rho_{min1} = \frac{0.8\sqrt{210}}{4200}) \text{ y } (\rho_{min2} = \frac{14}{4200})$$

$$(\rho_{min1} = 0.0028) \text{ y } (\rho_{min2} = 0.0033)$$

$$\rho_{min} = 0.0033$$

La cuantía máxima permitida por la norma es de 0.025 (véase NSR-10, Sec. C.21.5.2.1), pero para fines académicos trabajaremos bajo condiciones preestablecidas, suponiendo un valor ϕ fijo de 0.9 para forzar el diseño a trabajar controlado por la tensión (vea Paso 9), por lo tanto el límite de cuantía máximo lo calcularemos así:

$$\rho_{max} = 0.85 * \frac{f'_c}{f_y} * \beta_1 * \frac{0.003}{0.003 + 0.005}$$

$$\rho_{max} = 0.85 * \frac{210}{4200} * 0.85 * \frac{0.003}{0.003 + 0.005}$$

$$\rho_{max} = 0.0135$$

Ver AQUÍ cómo seleccionar la cuantía

[Tabla de cuantía](#)

Acto seguido de realizar el cálculo, se obtuvo $k_u = 20.256 kgf/cm^2$, con el cual se ingresa a la tabla, pulsando sobre el vínculo “Tabla de cuantía”, el cual despliega la siguiente tabla, que depende de los factores ingresados con anterioridad, dicha tabla cumple con los datos de cuantía máxima y mínima plasmados en los requisitos

de la Norma Sismorresistente Colombiana (NSR-10, Sec. C.21.5.2.1) y se selecciona la cuantía que corresponde a k_u inmediatamente superior al obtenido así:

TABLAS PARA DISEÑO DE ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN											
$\rho_{min} = 0.0033$			$f_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$			$f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$			$\rho_{max} = 0.0135$		
ρ	$K_u \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$	a/d	ρ	$K_u \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$	a/d	ρ	$K_u \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$	a/d	ρ	$K_u \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$	a/d
0.0033	11.9897	0.0776	0.0059	20.7540	0.1388	0.0085	28.9170	0.2000	0.0111	36.4788	0.2612
0.0034	12.3379	0.0800	0.0060	21.0791	0.1412	0.0086	29.2190	0.2024	0.0112	36.7576	0.2635
0.0035	12.6852	0.0824	0.0061	21.4032	0.1435	0.0087	29.5200	0.2047	0.0113	37.0356	0.2659
0.0036	13.0317	0.0847	0.0062	21.7266	0.1459	0.0088	29.8202	0.2071	0.0114	37.3126	0.2682
0.0037	13.3772	0.0871	0.0063	22.0490	0.1482	0.0089	30.1195	0.2094	0.0115	37.5888	0.2706
0.0038	13.7218	0.0894	0.0064	22.3705	0.1506	0.0090	30.4179	0.2118	0.0116	37.8640	0.2729
0.0039	14.0656	0.0918	0.0065	22.6911	0.1529	0.0091	30.7154	0.2141	0.0117	38.1384	0.2753
0.0040	14.4085	0.0941	0.0066	23.0109	0.1553	0.0092	31.0120	0.2165	0.0118	38.4119	0.2776
0.0041	14.7504	0.0965	0.0067	23.3297	0.1576	0.0093	31.3077	0.2188	0.0119	38.6845	0.2800
0.0042	15.0915	0.0988	0.0068	23.6477	0.1600	0.0094	31.6026	0.2212	0.0120	38.9562	0.2824
0.0043	15.4317	0.1012	0.0069	23.9648	0.1624	0.0095	31.8965	0.2235	0.0121	39.2271	0.2847
0.0044	15.7710	0.1035	0.0070	24.2809	0.1647	0.0096	32.1896	0.2259	0.0122	39.4970	0.2871
0.0045	16.1095	0.1059	0.0071	24.5962	0.1671	0.0097	32.4818	0.2282	0.0123	39.7660	0.2894
0.0046	16.4470	0.1082	0.0072	24.9106	0.1694	0.0098	32.7730	0.2306	0.0124	40.0342	0.2918
0.0047	16.7836	0.1106	0.0073	25.2242	0.1718	0.0099	33.0634	0.2329	0.0125	40.3015	0.2941
0.0048	17.1194	0.1129	0.0074	25.5368	0.1741	0.0100	33.3529	0.2353	0.0126	40.5678	0.2965
0.0049	17.4543	0.1153	0.0075	25.8485	0.1765	0.0101	33.6416	0.2376	0.0127	40.8333	0.2988
0.0050	17.7882	0.1176	0.0076	26.1594	0.1788	0.0102	33.9293	0.2400	0.0128	41.0979	0.3012
0.0051	18.1213	0.1200	0.0077	26.4693	0.1812	0.0103	34.2161	0.2424	0.0129	41.3616	0.3035
0.0052	18.4535	0.1224	0.0078	26.7784	0.1835	0.0104	34.5021	0.2447	0.0130	41.6245	0.3059
0.0053	18.7848	0.1247	0.0079	27.0866	0.1859	0.0105	34.7871	0.2471	0.0131	41.8864	0.3082
0.0054	19.1152	0.1271	0.0080	27.3939	0.1882	0.0106	35.0713	0.2494	0.0132	42.1474	0.3106
0.0055	19.4448	0.1294	0.0081	27.7003	0.1906	0.0107	35.3546	0.2518	0.0133	42.4076	0.3129
0.0056	19.7734	0.1318	0.0082	28.0058	0.1929	0.0108	35.6370	0.2541	0.0134	42.6669	0.3153
0.0057	20.1012	0.1341	0.0083	28.3104	0.1953	0.0109	35.9184	0.2565	0.0135	42.9252	0.3176
0.0058	20.4280	0.1365	0.0084	28.6142	0.1976	0.0110	36.1991	0.2588			

Este valor debe ser ingresado a la rutina para que continúe con los cálculos, por lo que debemos regresar a la ventana de ingreso de datos y se observa un nuevo campo llamado “Cuantía”, donde se debe ingresar el valor hallado según la tabla y seleccionar “CALCULAR” (si se hubiera seleccionado la opción de hallar la cuantía por fórmula, este paso es realizado por el software automáticamente):

Con tablas de cuantia ▼

Con tabla de áreas ▼

cuantía

0.0058

Calcular

Al calcular, el proceso arroja un paso nuevo que corresponde al cálculo del acero óptimo, con un área de acero calculada (A_{sc}) que debe ser llevada a la realidad,

buscando la combinación de barras que más se acerque a dicha área en exceso para garantizar seguridad y economía para el diseñador.

La cuantía mínima (véase NSR-10, C.10-3)(ver conversión de unidades a mks en NSR-10, Apéndice C-F, C.10-3) es la mayor entre:

$$(\rho_{min1} = \frac{0.8\sqrt{f'_c}}{f_y}) \text{ y } (\rho_{min2} = \frac{14}{f_y})$$

$$(\rho_{min1} = \frac{0.8\sqrt{210}}{4200}) \text{ y } (\rho_{min2} = \frac{14}{4200})$$

$$(\rho_{min1} = 0.0028) \text{ y } (\rho_{min2} = 0.0033)$$

$$\rho_{min} = 0.0033$$

La cuantía máxima permitida por la norma es de **0.025** (véase NSR-10, Sec. C.21.5.2.1), pero para fines académicos trabajaremos bajo condiciones preestablecidas, suponiendo un valor ϕ fijo de 0.9 para forzar el diseño a trabajar controlado por la tensión (vea Paso 9), por lo tanto el límite de cuantía máximo lo calcularemos así:

$$\rho_{max} = 0.85 * \frac{f'_c}{f_y} * \beta_1 * \frac{0.003}{0.003 + 0.005}$$

$$\rho_{max} = 0.85 * \frac{210}{4200} * 0.85 * \frac{0.003}{0.003 + 0.005}$$

$$\rho_{max} = 0.0135$$

Ver AQUÍ cómo seleccionar la cuantía

[Tabla de cuantía](#)

$$\rho = 0.0058 \text{ CUMPLE}$$

5 Acero

A continuación calcularemos el área de acero teórico que debe ser utilizado en el elemento

$$A_{sc} = \rho * b * d$$

$$A_{sc} = 0.0058 * 30.0 * 44.1359$$

$$A_{sc} = 7.6796[cm^2]$$

El área de acero que será suministrado depende de los diámetros comerciales de barras de acero, debemos seleccionar una combinación de estas teniendo en cuenta que la sumatoria de sus áreas debe ser lo menor posible, SIEMPRE Y CUANDO cumpla con ser mayor a A_{sc}

Ver AQUÍ cómo seleccionar una combinación de barras

[Mostrar áreas](#)

Para seleccionar el área de acero suministrado, se recurre a la tabla de áreas utilizando el vínculo “Mostrar áreas”, se calcula la cantidad más cercana en exceso al $A_{sc} = 7.656cm^2$:

Barras	Diametro (cm)	Áreas (cm²)									
		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
N3	0.9525	0.7126	1.4251	2.1377	2.8502	3.5628	4.2753	4.9879	5.7005	6.4130	7.1256
N4	1.2700	1.2668	2.5335	3.8003	5.0671	6.3338	7.6006	8.8674	10.1341	11.4009	12.6677
N5	1.5875	1.9793	3.9587	5.9380	7.9173	9.8966	11.8760	13.8553	15.8346	17.8139	19.7933
N6	1.9050	2.8502	5.7005	8.5507	11.4009	14.2511	17.1014	19.9516	22.8018	25.6521	28.5023
N7	2.2225	3.8795	7.7590	11.6384	15.5179	19.3974	23.2769	27.1564	31.0358	34.9153	38.7948
N8	2.5400	5.0671	10.1341	15.2012	20.2683	25.3354	30.4024	35.4695	40.5366	45.6037	50.6707
N9	2.8575	6.4130	12.8260	19.2390	25.6521	32.0651	38.4781	44.8911	51.3041	57.7171	64.1302
N10	3.1750	7.9173	15.8346	23.7519	31.6692	39.5865	47.5038	55.4211	63.3384	71.2557	79.1730
N11	3.4925	9.5799	19.1599	28.7398	38.3198	47.8997	57.4796	67.0596	76.6395	86.2194	95.7994
N14	4.4450	15.5179	31.0358	46.5537	62.0717	77.5896	93.1075	108.6254	124.1433	139.6612	155.1792
N18	5.7150	25.6521	51.3041	76.9562	102.6083	128.2603	153.9124	179.5645	205.2165	230.8686	256.5207

Se seleccionó la combinación de 2 barras N°6 y 1 barra N°5, obteniendo con la suma de sus áreas $A_{ss} = 7.6798cm^2 > 7.656cm^2$

y como en el paso anterior, volvemos a la ventana de ingreso de datos, donde se ingresan los valores de las barras obtenidas en el nuevo campo “acero” de la siguiente manera:

cuantía
0.0058

Barras

OJO→ Es importante incluir un espacio después de cada coma (,).

OJO→ El orden no es importante en este paso, es posible utilizar (6, 6, 5); (5, 6, 6) o (6, 5, 6), pero para un diseño detallado siempre es recomendable ubicar las barras de mayor tamaño en los extremos.

Luego de esto se procede a “Calcular” y se obtiene el resto de los cálculos, arrojando un diseño completo del elemento (En caso de haber seleccionado la opción de realizar los cálculos automáticos, se vería resultado de la rutina como el siguiente):

A continuación calcularemos el área de acero teórico que debe ser utilizado en el elemento

$$Asc = \rho * b * d$$

$$Asc = 0.0058 * 30.0 * 44.1359$$

$$Asc = 7.6796[cm^2]$$

El área de acero que será suministrado depende de los diámetros comerciales de barras de acero, debemos seleccionar una combinación de estas teniendo en cuenta que la sumatoria de sus áreas debe ser lo menor posible, SIEMPRE Y CUANDO cumpla con ser mayor a Asc

Ver AQUÍ cómo seleccionar una combinación de barras

Mostrar áreas

$$Barras = [6, 6, 5]$$

$$Ass = 7.6798[cm^2]$$

En este punto, al tener nuestra combinación de barras, debemos recalculer d . Para eso calcularemos la verdadera longitud d_o que es la suma entre el recubrimiento, el diámetro del estribo y la longitud al centroide del refuerzo en tracción. (véase NSR-10 Sec. C.7.7.1)

$$d_c = rec + (est * \frac{2.54}{8}) + \frac{\sum \bar{Y} * A}{\sum A}$$

\bar{Y} es la distancia desde el punto de contacto con el estribo hasta el centro de masa de cada área

$$d_c = 4.0 + (3 * \frac{2.54}{8}) + 0.9116$$

$$d_c = 5.8641$$

COMPROBACIÓN DE ÁREA

$$Asc \leq Ass \text{ CUMPLE}$$

COMPROBACIÓN DE SEPARACIÓN

El Diámetro de mayor denominación utilizado en las barras longitudinales es $dB = N6$

Para barras longitudinales $N6$, se deben usar estribos $est = N3$ (véase NSR-10, Sec. C.7.10.5.1)

$$s = \frac{b - 2(rec + est * \frac{2.54}{8}) - (\sum Barras * \frac{2.54}{8})}{cantidadBarras - 1}$$

$$s = \frac{30.0 - 2(4.0 + 3 * \frac{2.54}{8}) - 5.3975}{3 - 1}$$

$$s = 7.349[cm]$$

La separación de barras longitudinales en vigas debe cumplir con los siguientes criterios

$s \geq dB$ (véase NSR-10, Sec. C.7.6.1)

La separación de barras longitudinales en vigas debe cumplir con los siguientes criterios

$$s \geq dB \text{ (véase NSR-10, Sec. C.7.6.1)}$$

$$s \geq 2.5cm \text{ (véase NSR-10, Sec. C.7.6.1)}$$

$$s \geq \frac{4}{3} \text{Diametro agregado} \text{ (véase NSR-10, Sec. C.3.3.2)}$$

Separación *CUMPLE*

6 Profundidad de la zona en compresión

Al momento de diseñar, la Norma nos permite usar una distribución rectangular de esfuerzos de compresión como reemplazo de distribuciones más exactas de los esfuerzos. Este 'bloque de esfuerzos' tiene una profundidad a (véase NSR-10, Sec. C.10.2.7.1) que se determina de la siguiente manera:

$$a = \frac{Ass * fy}{0.85 * f'c * b}$$
$$a = \frac{7.6798 * 4200}{0.85 * 210 * 30.0}$$
$$a = 6.0234[cm]$$

7 Hallar la profundidad del eje neutro

La distancia c va desde la fibra extrema en compresión hasta el eje neutro (véase NSR-10, Sec. C.10.2.7.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$
$$c = \frac{6.0234}{0.85}$$
$$c = 7.0864[cm]$$

8 Calcular la magnitud de la deformación unitaria en el acero

Al suponer el límite de deformación del concreto (ϵ_c), el cálculo de la deformación unitaria del acero nos permite saber cuando un elemento está controlado por la compresión, por la tensión o se encuentra en zona de transición.

Lo recomendable es diseñar un elemento controlado por la tensión, para cumplir con esto, la deformación unitaria del acero no debe ser menor a 0.005 (véase NSR-10, Sec. CR10.3.3).

$$\epsilon_s = \left(\frac{\epsilon_c}{c} \right) * (d - c)$$
$$\epsilon_s = \left(\frac{0.003}{7.0864} \right) * (44.1359 - 7.0864)$$
$$\epsilon_s = 0.0157$$

comprobacion de fluencia

8 Calcular la magnitud de la deformación unitaria en el acero

Al suponer el límite de deformación del concreto (ϵ_c), el cálculo de la deformación unitaria del acero nos permite saber cuando un elemento está controlado por la compresión, por la tensión o se encuentra en zona de transición.

Lo recomendable es diseñar un elemento controlado por la tensión, para cumplir con esto, la deformación unitaria del acero no debe ser menor a 0.005 (véase NSR-10, Sec. CR10.3.3).

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \left(\frac{\epsilon_c}{c}\right) * (d - c) \\ \epsilon_s &= \left(\frac{0.003}{7.0864}\right) * (44.1359 - 7.0864) \\ \epsilon_s &= 0.0157\end{aligned}$$

comprobacion de fluencia

$\epsilon_s \geq 0.005$ El Acero Fluye

9 Calcular el factor de reducción de resistencia

El factor de reducción de la resistencia varia dependiendo del valor de la deformación unitaria del acero (véase NSR-10, Fig. CR9.3.2 y NSR-10, Sec. C.10.3.3)

$$\begin{aligned}\text{Si } (\epsilon_s \leq 0.002) \\ \rightarrow \phi &= 0.65 \\ \text{Si } (0.005 > \epsilon_s > 0.002) \\ \rightarrow \phi &= 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) * \left(\frac{250}{3}\right) \\ \text{Si } (0.005 \leq \epsilon_s) \\ \rightarrow \phi &= 0.90\end{aligned}$$

Por lo tanto para $\epsilon_s = 0.0157$

$$\phi = 0.9$$

10 Hallar el Momento resistente

En este último paso determinamos la magnitud del momento flector que puede soportar el elemento sin que su estructura se vea afectada, y lo comparamos con el momento último al cual será sometido.

$$\begin{aligned}Mr &= \phi * A_s * f_y * \left(d - \left(\frac{a}{2}\right)\right) \div 10^5 \\ Mr &= 0.9 * 7.6798 * 4200 * \left(44.1359 - \left(\frac{6.0234}{2}\right)\right) \div 10^5 \\ Mr &= 11.93821 [Tf * m] \\ Mr &\geq Mu \text{ CUMPLE}\end{aligned}$$