



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL COMPORTAMIENTO SISMORRESISTENTE DE ESTRUCTURAS APORTICADAS DE CONCRETO REFORZADO

Tutor Académico:
Prof. Angelo Marinilli

Trabajo Especial de Grado presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br.:
Juan José Bruzual Andarcia

CONTENIDO:

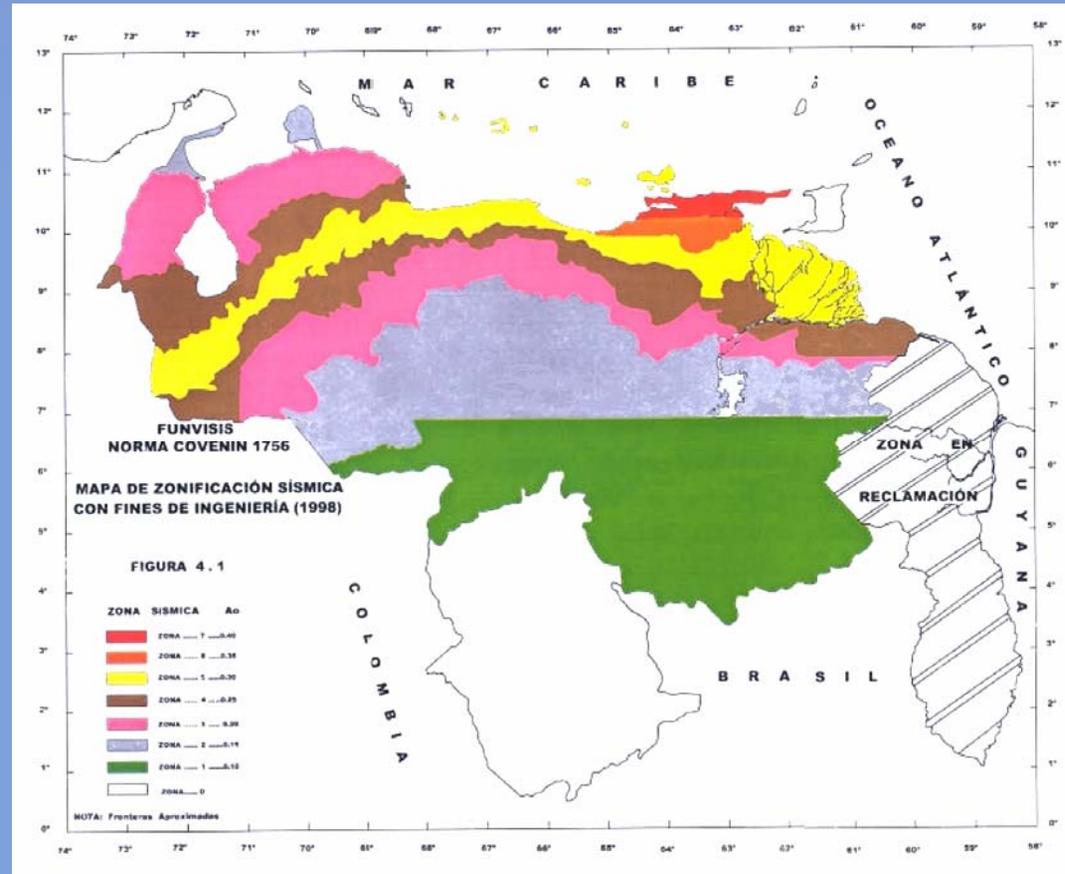
- ✓ *Fundamentos de la Investigación*
- ✓ Marco Teórico
- ✓ *Metodología*
- ✓ Análisis y Resultados
- ✓ *Conclusión y Recomendaciones*



FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Planteamiento del problema



- Venezuela país sísmico.
- Incertidumbre en el comportamiento sismorresistente de estructuras de concreto reforzado.

FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivos

Objetivo General

Realizar un análisis probabilístico del efecto de la variabilidad de las propiedades mecánicas del concreto reforzado, específicamente la resistencia a compresión del concreto (f'_c) y el esfuerzo cedente del acero de refuerzo (f_y), en el comportamiento sismorresistente en Estructuras Aporticadas de concreto reforzado.

Objetivos Específicos

- ✓ Identificar y verificar la variabilidad que pueda presentarse en la resistencia a compresión del concreto (f'_c) y el esfuerzo cedente del acero (f_y), éstas como propiedades mecánicas de los materiales constituyentes del concreto reforzado.
- ✓ Analizar de manera probabilística la influencia de la variabilidad de las propiedades mecánicas (f'_c y f_y) en el comportamiento de secciones de columnas y vigas de concreto reforzado para pórticos normalizados pequeños de 1 (uno) ó 2 (dos) pisos.

FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivos

Objetivos Específicos

- ✓ Analizar de manera probabilística la influencia de la variabilidad de las propiedades mecánicas (f'_c y f_y) en el comportamiento sismorresistente de estructuras aporticadas de concreto reforzado normalizadas pequeñas de 1 (uno) ó 2 (dos) pisos, mediante un análisis estático inelástico (*push over*).
- ✓ Establecer recomendaciones que puedan ser consideradas para fines de diseño sismorresistente de estructuras aporticadas de concreto reforzado.

FUNDAMENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Aportes

- ✓ Identificar la influencia de la variabilidad de la resistencia a compresión del concreto (f'_c) y del esfuerzo cedente del acero (f_y) como propiedades mecánicas de los materiales del concreto reforzado en el comportamiento de secciones de vigas y columnas de estructuras aporticadas de concreto reforzado normalizadas pequeñas de 1 (uno) ó 2 (dos) pisos.
- ✓ Evaluar la influencia de la variabilidad de f'_c y f_y en el comportamiento sismorresistente de estructuras aporticadas de concreto reforzado normalizadas pequeñas de 1 (uno) ó 2 (dos) pisos.
- ✓ Generar un aporte a las investigaciones existentes a nivel nacional e internacional en materia sismorresistente para la construcción de estructuras más seguras que permitan preservar la vida de sus habitantes.
- ✓ Contribuir con la línea de investigación desarrollada en el IMME (Instituto de Materiales y Modelos Estructurales) en cuanto al estudio del comportamiento sismorresistente de estructuras aporticadas de concreto reforzado.
- ✓ Sentar precedentes para futuras investigaciones en el análisis del efecto de la variabilidad de las propiedades mecánicas en el comportamiento sismorresistente de estructuras de concreto reforzado.



MARCO TEÓRICO

MARCO TEÓRICO

Concreto Reforzado

Concreto Estructural

- ✓ Propiedad mecánica principal es la resistencia a compresión (f'_c), para la que FONDONORMA 1753 (2006) establece un valor mínimo de 210kgf/cm².
- ✓ La resistencia a compresión (f'_c) del concreto depende de numerosas variables como:
 - Calidad de los materiales
 - Procedimiento de mezclado
 - Transporte
 - Colocación y compactación
 - Procedimiento de curado.
- ✓ Se aplican controles de calidad con el fin de disminuir esta variabilidad, sin embargo dicha variabilidad tiene un límite práctico por debajo del cual no puede ser disminuida.
- ✓ La distribución normal resulta adecuada para representar el comportamiento de la resistencia a compresión del concreto, con desviación estándar dependiente del control de calidad empleado.

MARCO TEÓRICO

Concreto Reforzado

Acero de Refuerzo

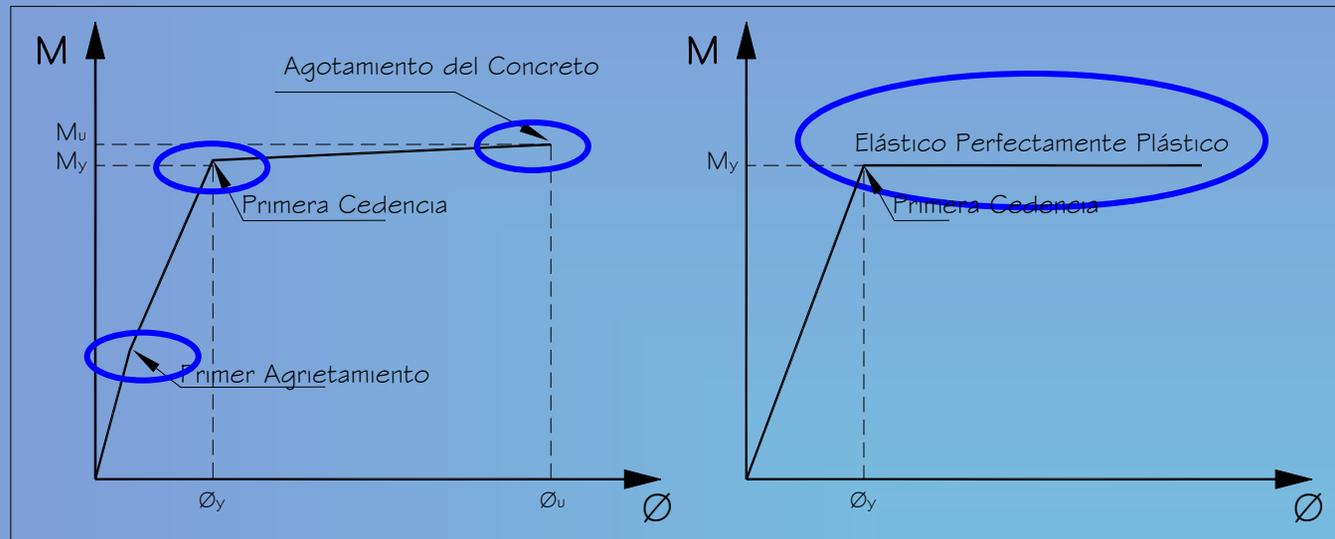
- ✓ Su principal propiedad mecánica es su resistencia cedente (f_y) con valor mínimo establecido por COVENIN 316 (2000) de 4200 kgf/cm^2 .
- ✓ FONDONORMA 1753 (2006) permite que f_y^* sea hasta un 25% mayor que el valor mínimo establecido por COVENIN 316 (2000).
- ✓ La distribución normal resulta adecuada para representar el comportamiento del esfuerzo cedente del acero, con coeficientes de variación entre 3 y 5%.
- ✓ Se consideró un comportamiento elástico perfectamente plástico del acero despreciando así el endurecimiento por deformación.

MARCO TEÓRICO

Secciones de Concreto Reforzado

Secciones de concreto reforzado sometidas a flexión

- ✓ Datos requeridos por Ram Perform 2D para definir el comportamiento Resistente en secciones de vigas.



Curvas idealizadas momento-curvatura para secciones de vigas.

MARCO TEÓRICO

Secciones de Concreto Reforzado

Secciones de concreto reforzado sometidas a flexión y carga axial

- ✓ Datos requeridos por Ram Perform 2D para definir el comportamiento Resistente en secciones de columnas.

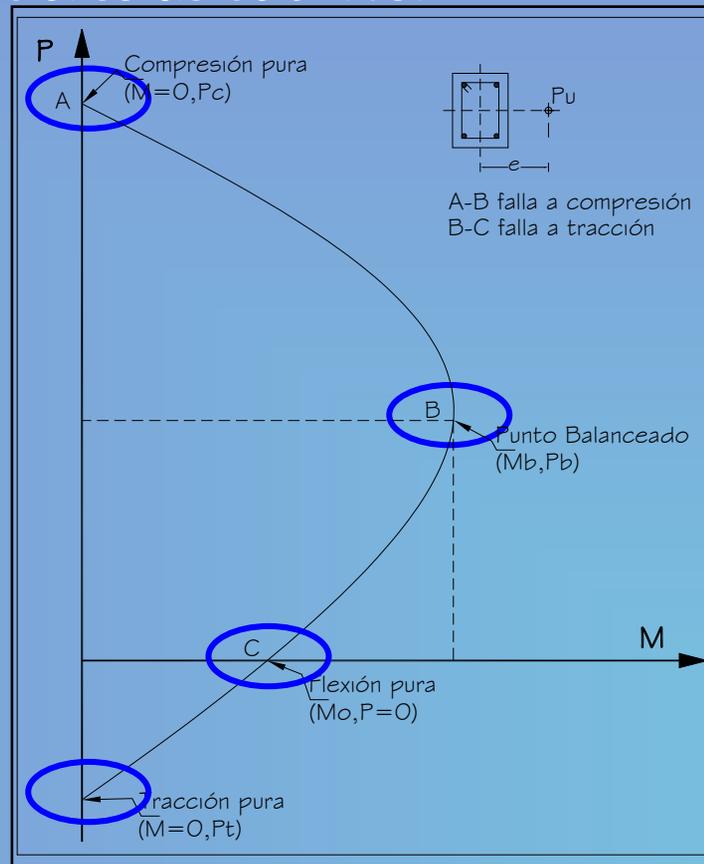
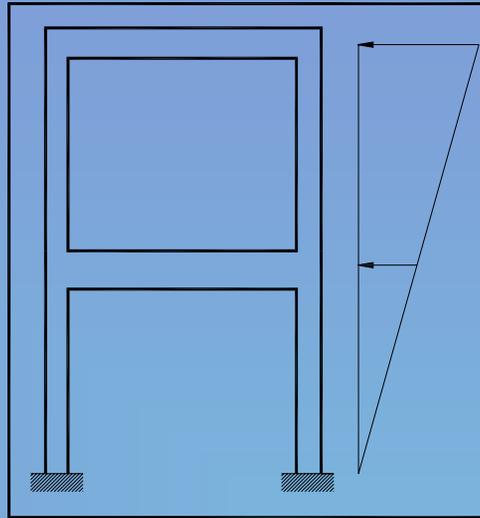


Diagrama de interacción para las secciones de columnas.

MARCO TEÓRICO

Análisis Estático Inelástico (*push over*)

- ✓ Aplicar cargas laterales estáticas monotónicamente crecientes.
- ✓ Perfil de carga para el análisis de *push over*.



Perfil de carga utilizado para el análisis de push over.

Método de Simulación de Montecarlo

- ✓ Análisis probabilístico del comportamiento sismorresistente de los pórticos.
- ✓ Posible uso es el evaluar la Probabilidad de Falla (P_f)

$$N > \frac{-\ln(1 - C)}{P_f}$$

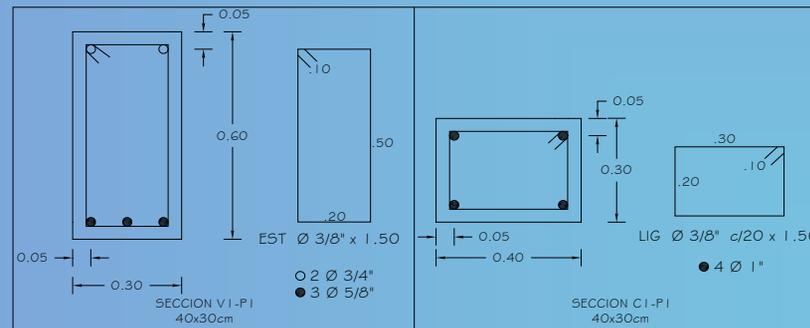
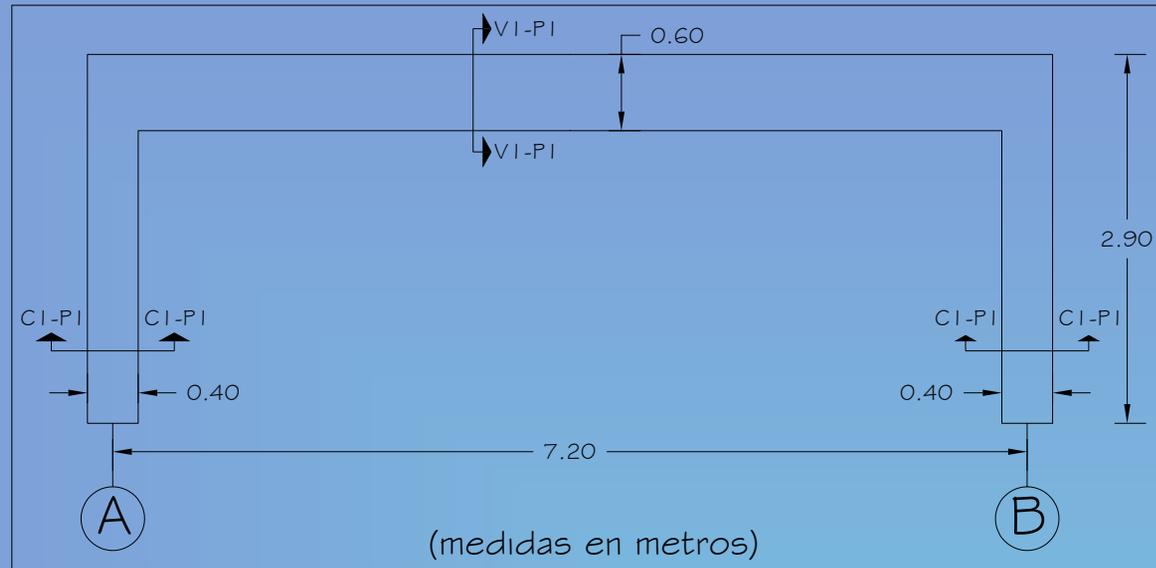


METODOLOGÍA

METODOLOGÍA

Pórticos Seleccionados

Pórtico I

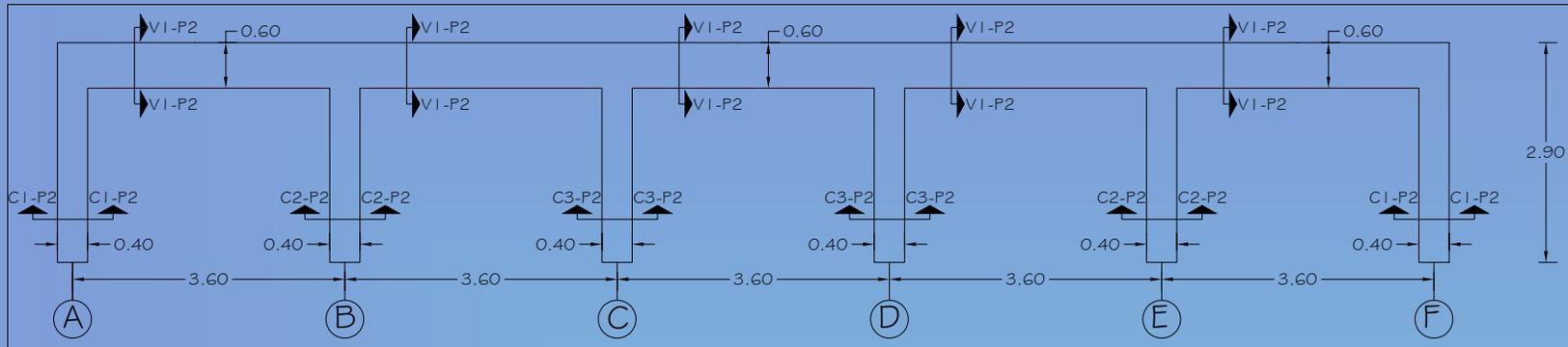


(medidas en metros)

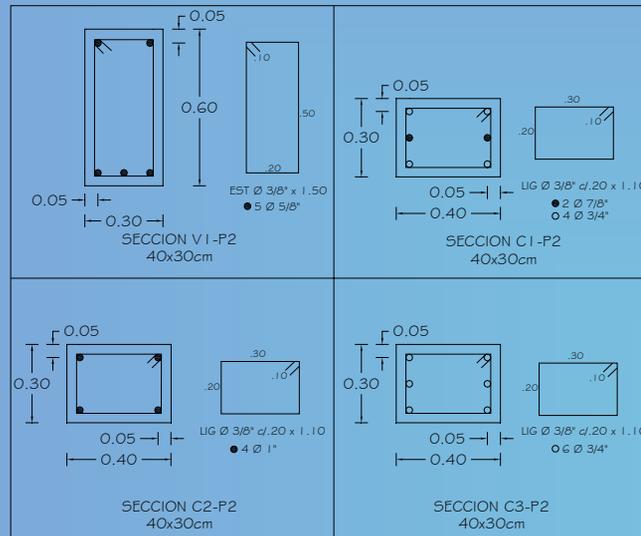
METODOLOGÍA

Pórticos Seleccionados

Pórtico II



(medidas en metros)

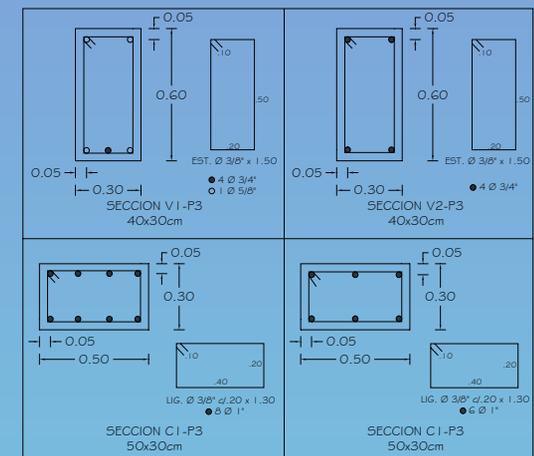
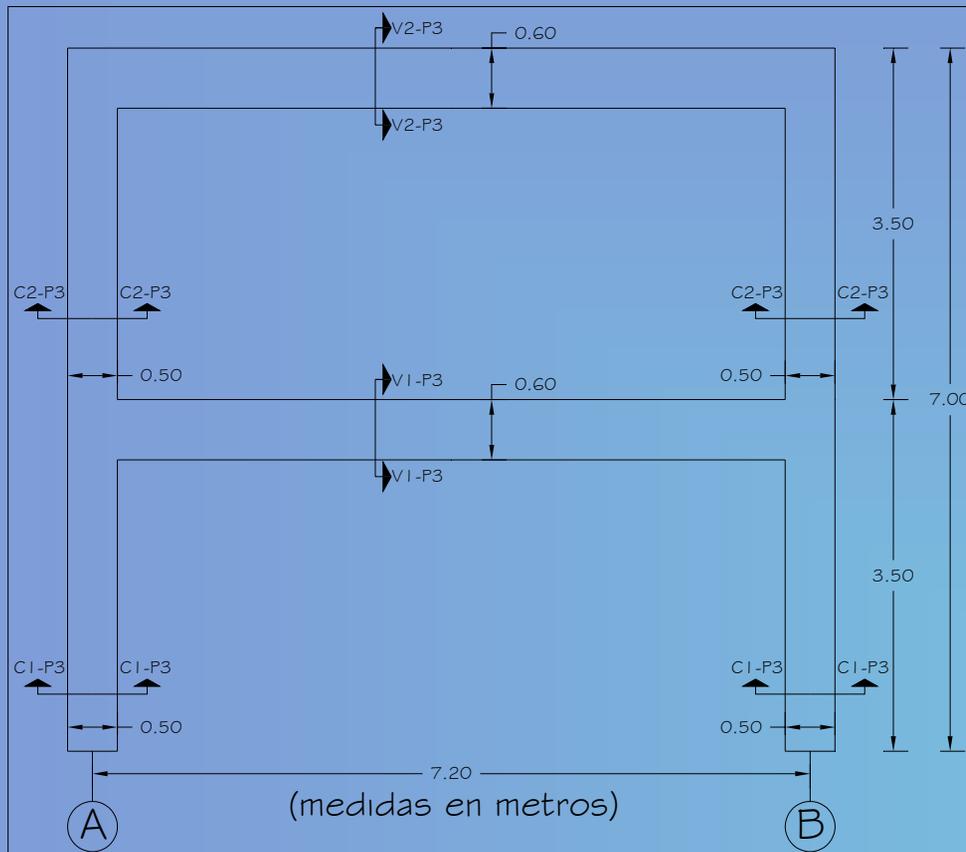


(medidas en metros)

METODOLOGÍA

Pórticos Seleccionados

Pórtico III



(medidas en metros)

METODOLOGÍA

Cargas Aplicadas

Cargas Permanentes (CP)

- ✓ Norma COVENIN 2002 (1988)
 - Losa nervada en una dirección $e=25\text{cm}$
 - Manto Asfáltico $e=3\text{mm}$
 - Granito Artificial $e=5\text{mm}$.
- ✓ Peso propios de los elementos (Columnas y Vigas).

Cargas Variables (CV)

- ✓ Norma COVENIN 2002 (1988)
 - Área de asientos fijos en edificaciones educacionales
 - Terrazas y azoteas.

Cargas Sísmica (S)

Combinaciones de Carga

- ✓ Combinación 1 : $CP + CV + S$
- ✓ Combinación 2 : $1.2 \times CP + CV + S$ (FONDONORMA 1753, 2006)
- ✓ Combinación 3 : $0.9 \times CP + S$ (FONDONORMA 1753, 2006)

METODOLOGÍA

Análisis de Sensibilidad

Variación de la resistencia a compresión del concreto (f'_c)

$$f'_c = 210 \text{ kgf/cm}^2 \quad S = 30 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (control bueno)} \quad cv = 14\%$$

Variación del esfuerzo cedente del acero (f_y)

$$f_y = 4800 \text{ kgf/cm}^2 \quad S = 240 \text{ kgf/cm}^2 \quad cv = 5\%$$

Combinaciones de f'_c y f_y para el análisis de sensibilidad

COMBINACIONES (para los pórticos)	f'_c (kgf/cm ²)	f_y (kgf/cm ²)
1	150	4800
2	270	4800
3	210	4800
4	210	4320
5	210	5280

Valores resistentes de secciones de vigas

Valores resistentes de secciones de columnas

Análisis estático inelástico

METODOLOGÍA

Análisis Probabilístico mediante el Método de Montecarlo

- ✓ Se generaron 100 valores aleatorios distribuidos entre $[0, 1]$ para cada pórtico.
- ✓ Se generaron 50 valores aleatorios de la resistencia a compresión del concreto para cada pórtico.
- ✓ Se generaron 50 valores aleatorios del esfuerzo cedente del acero para cada pórtico.
- ✓ Se obtuvieron valores resistentes de las secciones de vigas correspondientes a los pares de valores aleatorios de f'_c y f_y para cada pórtico.
- ✓ Se obtuvieron valores resistentes de las secciones de columnas correspondientes a los pares de valores aleatorios de f'_c y f_y para cada pórtico.
- ✓ Se realizó el análisis estático inelástico para cada par de valores aleatorios de f'_c y f_y en cada pórtico.

METODOLOGÍA

Curva Elasto Plástica Equivalente

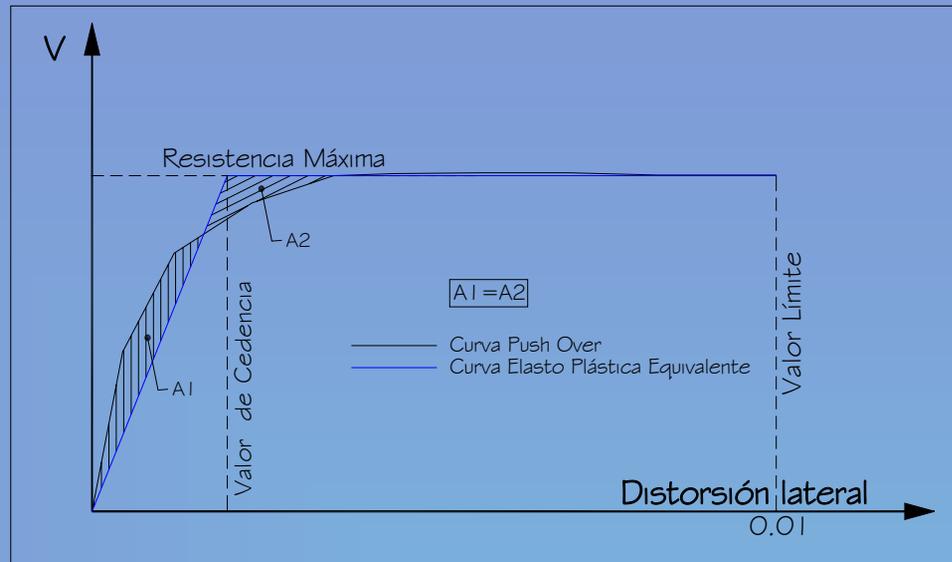


Diagrama momento-curvatura (50 valores) para la sección de viga VI-PI.

Secuencia de la Formación de Rótulas Plásticas Dispuestas en los Pórticos

Resistencia a Corte de los Pórticos



ANÁLISIS Y RESULTADOS

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Análisis de Sensibilidad

Combinaciones utilizadas para el análisis de sensibilidad.

[PORCENTAJES NEGATIVOS DE LA VARIACIÓN, IMPLICAN VALORES MENORES AL VALOR MEDIO RESPECTIVO]

COMBINACIONES (para los pórticos)	f _c (kgf/cm ²)	f _y (kgf/cm ²)	Variación respecto a la media	
			f _c (%)	f _y (%)
1	150	4800	-28.57	0
2	270	4800	28.57	0
3	210	4800	0	0
4	210	4320	0	-10.00
5	210	5280	0	10.00

Variación del momento y curvatura cedentes respecto a sus valores medios.

[PORCENTAJES NEGATIVOS DE LA VARIACIÓN, IMPLICAN VALORES MENORES AL VALOR MEDIO RESPECTIVO]

Positivos											
Pórtico I			Pórtico II			Pórtico III			Pórtico III		
Sección VI-P1			Sección VI-P2			Sección VI-P3			Sección V2-P3		
	My (%)	Øy (%)	My (%)	Øy (%)	My (%)	Øy (%)	My (%)	Øy (%)	My (%)	Øy (%)	
1	0.00	1.89	-0.07	2.07	-0.05	2.19	-0.05	1.77	-0.05	1.77	
2	0.07	-1.32	0.00	-1.32	0.00	-1.46	0.03	-1.24	0.03	-1.24	
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4	-9.99	-10.78	-10.06	-9.96	-9.99	-9.87	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	
5	10.06	10.02	9.99	10.15	9.99	10.05	10.00	10.00	10.00	10.00	
Negativos											
Pórtico I			Pórtico II			Pórtico III			Pórtico III		
Sección VI-P1			Sección VI-P2			Sección VI-P3			Sección V2-P3		
	My (%)	Øy (%)	My (%)	Øy (%)	My (%)	Øy (%)	My (%)	Øy (%)	My (%)	Øy (%)	
1	0.00	1.71	-0.10	1.38	-0.06	1.63	-0.05	1.77	-0.05	1.77	
2	0.07	-1.14	0.10	-1.19	0.04	-1.15	0.03	-1.24	0.03	-1.24	
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4	-9.97	-9.89	-10.02	-10.08	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	-10.00	
5	10.04	10.08	10.02	9.88	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Análisis de Sensibilidad

Variación del momento último y curvatura última respecto a sus valores medios.
[PORCENTAJES NEGATIVOS DE LA VARIACIÓN, IMPLICAN VALORES MENORES AL VALOR MEDIO RESPECTIVO]

Positivos											
Pórtico I			Pórtico II			Pórtico III			Pórtico III		
Sección VI -P1			Sección VI -P2			Sección VI -P3			Sección V2-P3		
	Mu (%)	Øu (%)	Mu (%)	Øu (%)	Mu (%)	Øu (%)	Mu (%)	Øu (%)	Mu (%)	Øu (%)	
1	-1.27	-13.44	-1.34	-16.73	-1.18	-15.74	-1.32	-13.17	-1.32	-13.17	
2	1.14	11.79	1.14	14.29	1.02	13.61	1.18	11.42	1.18	11.42	
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4	-9.58	5.16	-9.58	6.20	-9.63	6.66	-9.58	4.83	-9.58	4.83	
5	9.58	-4.79	9.58	-5.83	9.59	-6.24	9.56	-4.64	9.56	-4.64	

Negativos											
Pórtico I			Pórtico II			Pórtico III			Pórtico III		
Sección VI -P1			Sección VI -P2			Sección VI -P3			Sección V2-P3		
	Mu (%)	Øu (%)	Mu (%)	Øu (%)	Mu (%)	Øu (%)	Mu (%)	Øu (%)	Mu (%)	Øu (%)	
1	-1.25	-12.79	-1.67	-10.66	-1.29	-10.72	-1.32	-13.17	-1.32	-13.17	
2	1.19	11.17	1.48	9.40	1.20	9.40	1.18	11.42	1.18	11.42	
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4	-9.97	4.86	-9.46	3.13	-9.57	3.98	-9.58	4.83	-9.58	4.83	
5	9.62	-4.50	9.36	-2.98	9.56	-3.88	9.56	-4.64	9.56	-4.64	

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Análisis de Sensibilidad

Variación de ductilidades ($\mu = \bar{\Delta}u / \bar{\Delta}y$) de las secciones de vigas respecto a sus valores medios. [PORCENTAJES NEGATIVOS DE LA VARIACIÓN, IMPLICAN VALORES MENORES AL VALOR MEDIO RESPECTIVO]

Positivos				
	Pórtico I	Pórtico II	Pórtico III	
	V1-PI	V1-PII	V1-PIII	V2-PIII
	μ (%)	μ (%)	μ (%)	μ (%)
1	-15.05	-18.42	-17.55	-14.68
2	13.29	15.81	15.30	12.82
3	0.00	0.00	0.00	0.00
4	17.86	17.95	18.34	16.47
5	-13.46	-14.51	-14.80	-13.31

Negativos				
	Pórtico I	Pórtico II	Pórtico III	
	V1-PI	V1-PII	V1-PIII	V2-PIII
	μ (%)	μ (%)	μ (%)	μ (%)
1	-14.26	-11.88	-12.15	-14.68
2	12.45	10.72	10.67	12.82
3	0.00	0.00	0.00	0.00
4	16.37	14.69	15.54	16.47
5	-13.25	-11.70	-12.61	-13.31

Variación de los valores resistentes de las secciones de columnas respecto a sus valores medios. [PORCENTAJES NEGATIVOS DE LA VARIACIÓN, IMPLICAN VALORES MENORES AL VALOR MEDIO RESPECTIVO]

Pórtico I					
Sección C1-PI					
	Pt (%)	Mo (%)	Mb (%)	Pb (%)	Pc (%)
1	0.00	-1.48	-11.98	-28.85	-19.54
2	0.00	1.36	11.98	28.85	19.54
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	-10.00	-9.49	-4.89	5.53	-3.16
5	10.00	9.44	1.99	-10.40	3.16

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Análisis de Sensibilidad

Variación de la resistencia de *push over* (V) de los pórticos respecto a sus valores medios.
[PORCENTAJES NEGATIVOS DE LA VARIACIÓN, IMPLICAN VALORES MENORES AL VALOR MEDIO RESPECTIVO]

Combinaciones de Carga (Pórtico I)				
f'c (kgf/cm2)	fy (kgf/cm2)	Comb. 1 V (%)	Comb. 2 V (%)	Comb. 3 V (%)
150	4800	-5.57	-5.54	-5.60
270	4800	1.23	1.29	1.12
210	4800	0.00	0.00	0.00
210	4320	-12.45	-12.33	-12.60
210	5280	8.07	7.99	8.17

Combinaciones de Carga (Pórtico II)				
f'c (kgf/cm2)	fy (kgf/cm2)	Comb. 1 V (%)	Comb. 2 V (%)	Comb. 3 V (%)
150	4800	-5.17	-5.24	-5.09
270	4800	1.57	1.61	1.40
210	4800	0.00	0.00	0.00
210	4320	-9.48	-9.34	-9.66
210	5280	5.73	5.70	5.80

Combinaciones de Carga (Pórtico III)				
f'c (kgf/cm2)	fy (kgf/cm2)	Comb. 1 V (%)	Comb. 2 V (%)	Comb. 3 V (%)
150	4800	-7.45	-7.32	-7.13
270	4800	0.76	0.85	0.51
210	4800	0.00	0.00	0.00
210	4320	-10.57	-10.54	-10.81
210	5280	4.86	5.21	5.72

+/- 28.57

+/- 10.00

Resultado del Análisis de Sensibilidad

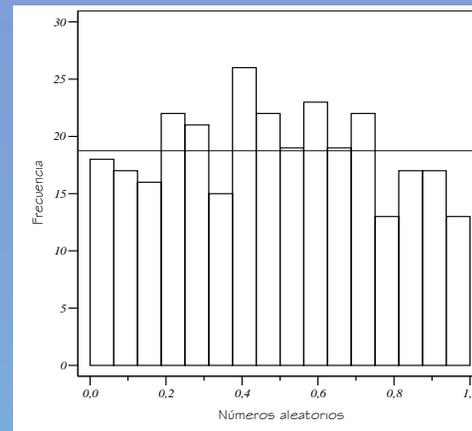
- ✓ El esfuerzo cedente del acero (f_y) debe considerarse como variable aleatoria
- ✓ La resistencia a compresión del concreto (f'_c) debe considerarse como variable aleatoria

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Análisis Probabilístico mediante el Método de Montecarlo

Generación de valores aleatorios

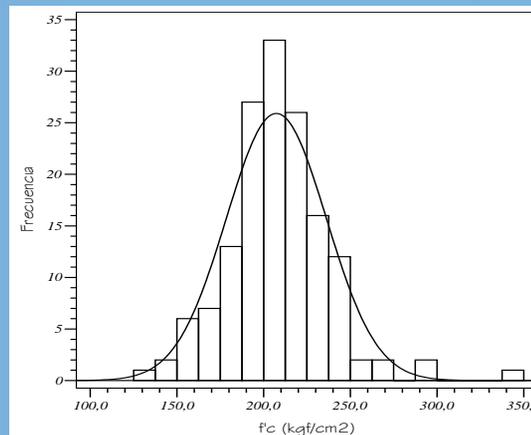
Valores Generados = 300
Valor Medio = 0.49
Coeficiente de Var. = 56.22



Histograma de frecuencia de los números aleatorios generados y distribución uniforme teórica.

Generación de valores de la resistencia a compresión (kgf/cm²)

Valores Generados = 150
Valor Medio = 207
Coeficiente de Var. = 13.935
(kgf/cm²)



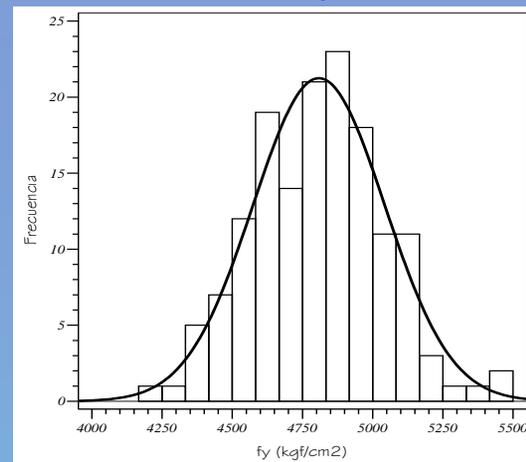
Histograma de frecuencia de f'c generados y distribución normal teórica.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Análisis Probabilístico mediante el Método de Montecarlo

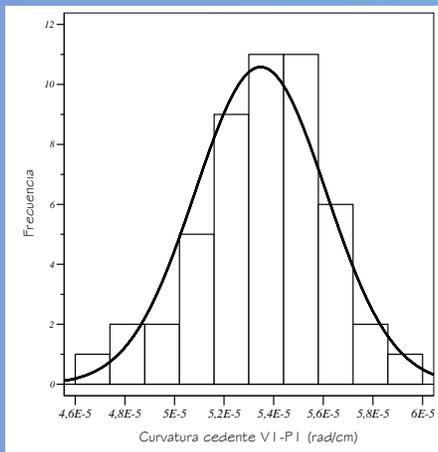
Generación de valores del esfuerzo cedente del acero (kgf/cm^2)

Valores Generados = 150
Valor Medio = 4808
Coeficiente de Var. = 4.883
(kgf/cm^2)



Histograma de frecuencia de f_y generados y distribución normal teórica.

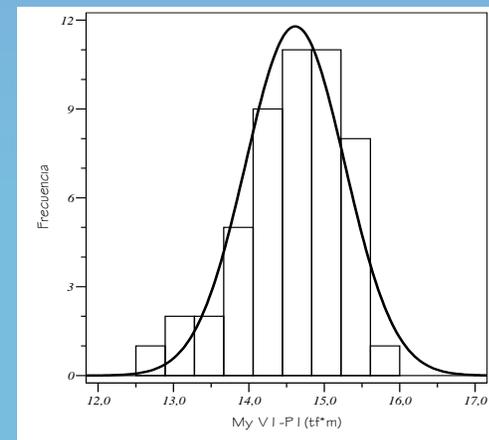
Valores resistentes obtenidos de la sección de viga (VI-PI)



Histograma de frecuencia de θ_y obtenidos y distribución normal teórica.

Valores Obtenidos $\theta_y = 50$
Valor Medio = $5.35E-05$
Coeficiente de Var. = 4.93
(rad/cm)

Valores Obtenidos $M_y = 50$
Valor Medio = 14.61
Coeficiente de Var. = 4.506
($\text{tf}^* \text{m}$)



Histograma de frecuencia de M_y Obtenidos y distribución normal teórica.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Análisis Probabilístico mediante el Método de Montecarlo Valores resistentes obtenidos de las sección de viga (VI-PI)

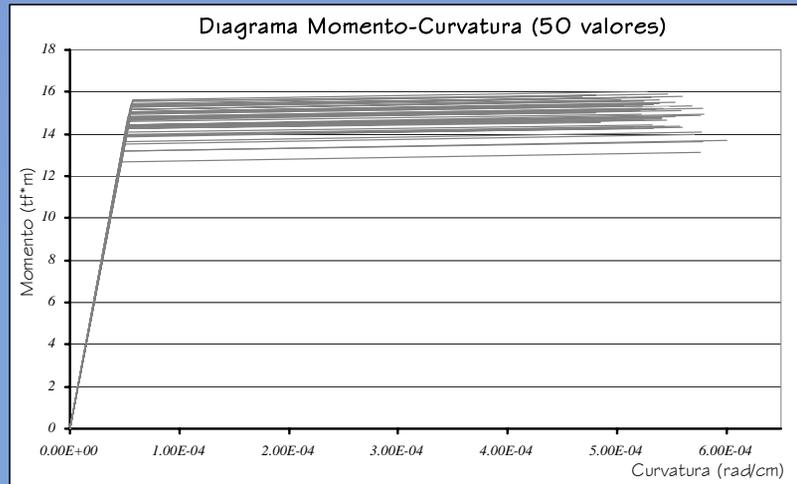
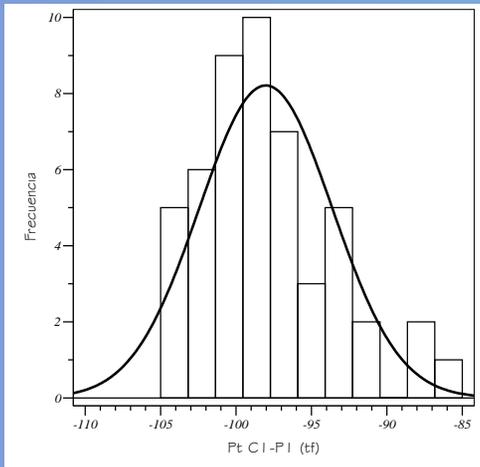


Diagrama momento-curvatura (50 valores) para la sección de viga VI-PI.

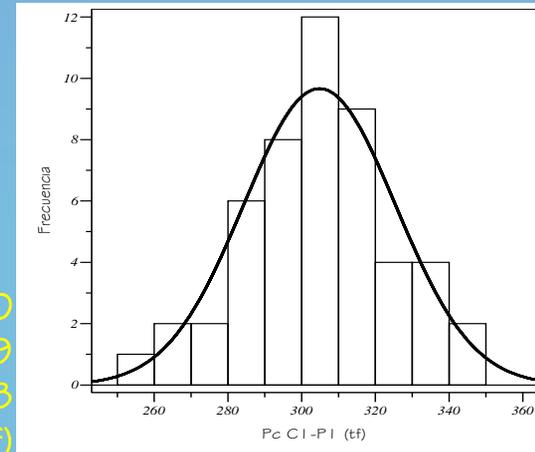
Valores resistentes obtenidos de la sección de columna CI-PI



Histograma de frecuencia de Pt obtenidos y distribución normal teórica.

Valores Obtenidos $P_t = 50$
Valor Medio = -98.0
Coeficiente de Var. = 4.508 (tf)

Valores Obtenidos $P_c = 50$
Valor Medio = 304.9
Coeficiente de Var. = 6.768 (tf)



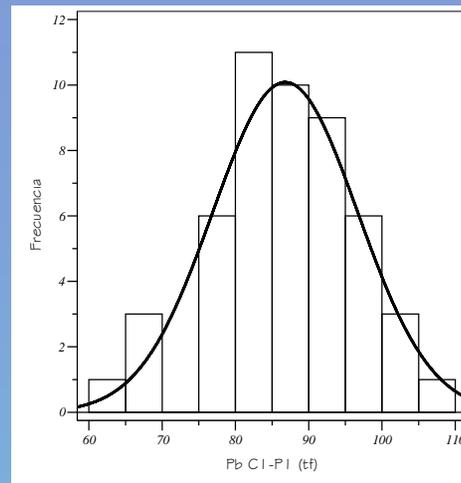
Histograma de frecuencia de Pc obtenidos y distribución normal teórica.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

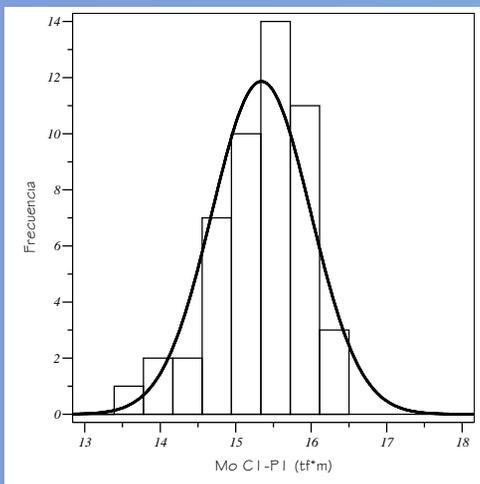
Análisis Probabilístico mediante el Método de Montecarlo

Valores resistentes obtenidos de la sección de columna C I -PI

Valores Obtenidos $P_b = 50$
Valor Medio = 86.8
Coeficiente de Var. = 11.399
(tf)



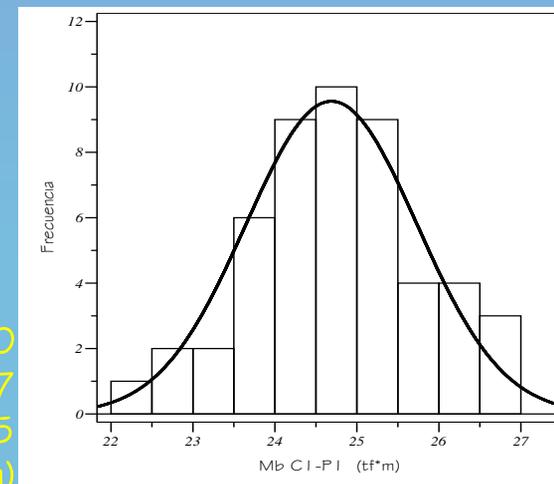
Histograma de frecuencia de P_b obtenidos y distribución normal teórica.



Valores Obtenidos $M_o = 50$
Valor Medio = 15.3
Coeficiente de Var. = 4.227
(tf*m)

Histograma de frecuencia de M_o obtenidos y distribución normal teórica.

Valores Obtenidos $M_b = 50$
Valor Medio = 24.7
Coeficiente de Var. = 4.225
(tf*m)



Histograma de frecuencia de M_b obtenidos y distribución normal teórica.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Análisis Probabilístico mediante el Método de Montecarlo

Valores resistentes obtenidos de la sección de columna C1-PI

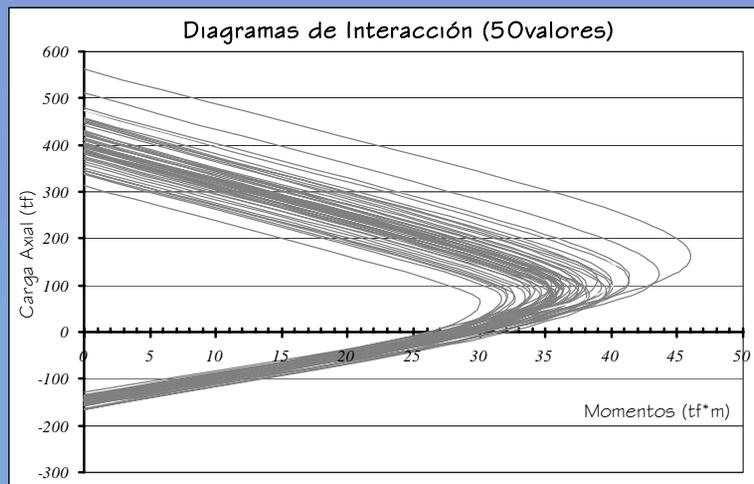
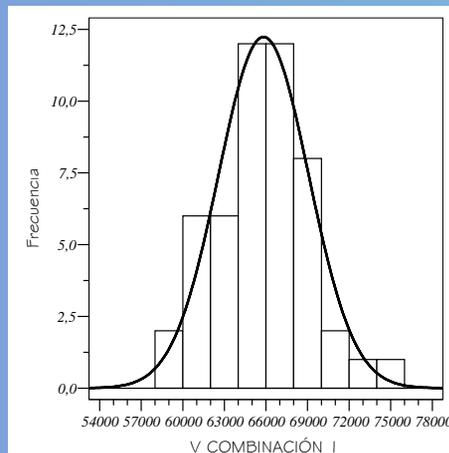


Diagrama de interacción (50 valores) para la sección de columna C1-PI.

Valores obtenidos de la resistencia de *push over* en el Pórtico III



Combinación de Carga I

Valores Obtenidos $V = 50$

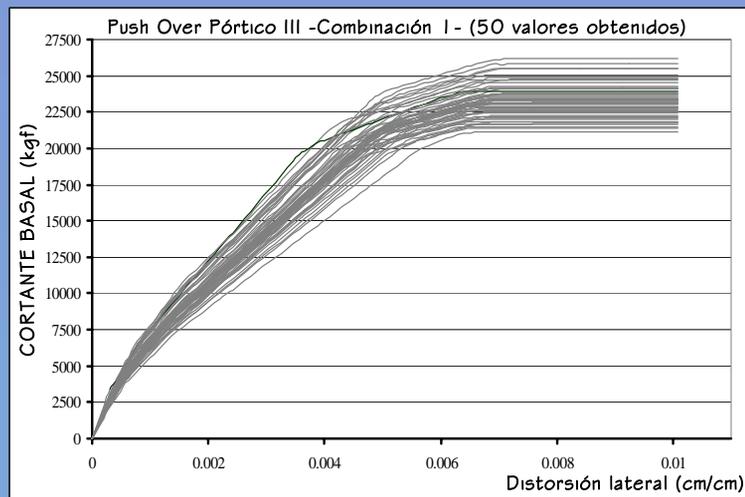
Valor Medio = 23303

Coficiente de Var. = 5.18
(kgf)

Histograma de frecuencia de V obtenidos y distribución normal teórica.

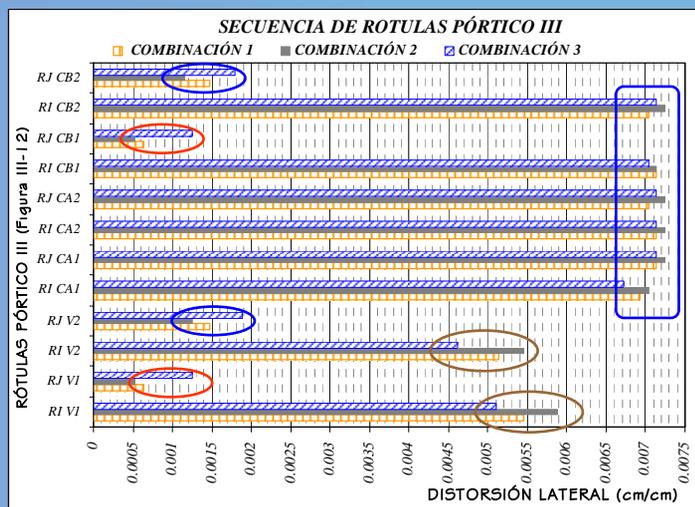
RESULTADOS Y ANÁLISIS

Análisis Probabilístico mediante el Método de Montecarlo



Gráficos de push over para los 50 pares valores aleatorios de f'_c y f_y en el Pórtico III considerando la primera combinación de cargas.

Secuencia de la Formación de Rótulas Plásticas



Secuencia general de las rótulas plásticas en el Pórtico III.

Análisis Probabilístico del Comportamiento Sismorresistente de Estructuras Aporticadas de Concreto Reforzado.

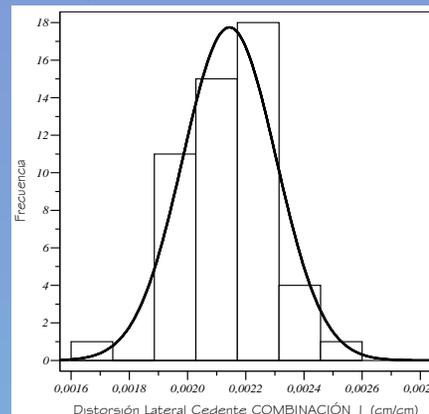
Juan José Bruzual Andarcia.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Curva Elasto Plástica Equivalente

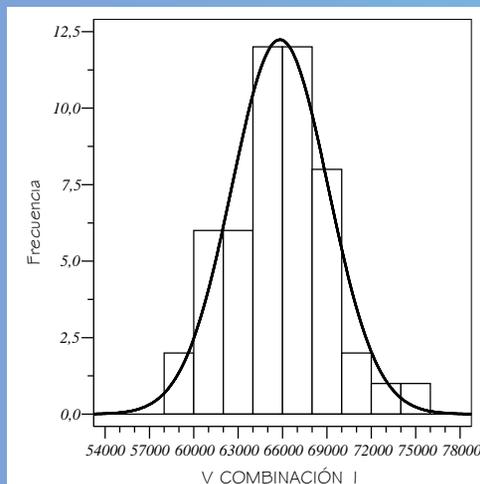
Valores obtenidos de la distorsión lateral cedente para el Pórtico II

Valores Obtenidos = 50
Valor Medio = 0,00214
Coeficiente de Var. = 7.489
(cm/cm)



Histograma de frecuencia de la distorsión lateral cedente obtenidas y distribución normal teórica.

Resistencia a Corte del Pórtico III



Valores Obtenidos $V_n = 50$
Valor Medio = 55515
Coeficiente de Var. = 5.189
(kgf)

Histograma de frecuencia de la resistencia a corte obtenida para el Pórtico III y su distribución normal teórica.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- ✓ Se realizó un análisis probabilístico de 3 (tres) pórticos de estructuras de concreto reforzado pequeñas de 1 (uno) y 2 (dos) pisos donde se evaluó la influencia de la variabilidad presente en la resistencia a compresión del concreto y en el esfuerzo cedente del acero en el comportamiento sismorresistente de los pórticos analizados.
- ✓ Según la bibliografía consultada, La curva de distribución normal resulta adecuada para representar la variabilidad que presenta la resistencia a compresión del concreto.
- ✓ Para la variabilidad existente en los valores del esfuerzo cedente del acero la bibliografía consultada considera curvas de distribución normal, lognormal, de valores extremos y beta; del mismo modo indica que el coeficiente de variación se encuentra entre 3 y 7%.
- ✓ Es prácticamente despreciable el efecto de la variación de la resistencia a compresión del concreto en el comportamiento cedente de secciones de vigas de concreto reforzado (momentos y curvaturas cedentes) presente en los pórticos analizados.

CONCLUSIONES

- ✓ El efecto de la variabilidad de la resistencia a compresión del concreto en la obtención del momento último para las secciones de vigas presentes en los pórticos analizados también podría considerarse despreciable, más no así el efecto en la curvatura última de estas secciones por su influencia en la ductilidad de las mismas.
- ✓ Se observó una gran influencia de la variabilidad del esfuerzo cedente del acero en el comportamiento resistente (momentos y curvaturas cedentes y últimos) de las secciones de vigas presentes en los pórticos analizados.
- ✓ La influencia de la variabilidad de la resistencia a compresión del concreto en la fuerza axial a tracción y el momento a flexión pura del diagrama de interacción de las secciones de columnas presente en los pórticos analizados es prácticamente despreciable.
- ✓ La variabilidad existente en f'_c tiene un efecto significativo en el momento balanceado, fuerza axial balanceada y fuerza axial a compresión pura del diagrama de interacción para secciones de columnas presentes en los pórticos analizados.

CONCLUSIONES

- ✓ Se observó que la variabilidad de f_y influye considerablemente en el comportamiento resistente de las secciones de columnas presente en los pórticos analizados en este trabajo de investigación.
- ✓ Del análisis de sensibilidad se concluye que tanto la resistencia a compresión de concreto como el esfuerzo cedente del acero deben ser consideradas como variables aleatorias para análisis probabilísticos que lo requieran.
- ✓ Se observó en los valores de la resistencia del análisis de *push over* la influencia de la variabilidad tanto de f'_c como de f_y , sin embargo, debido a la semejanza de sus coeficientes de variación se puede indicar para esta resistencia una mayor dependencia al esfuerzo cedente del acero.
- ✓ Las distribuciones probabilísticas que gobernaron los parámetros estudiados en este trabajo de investigación, fueron las distribuciones normales.
- ✓ En cuanto a las distorsiones laterales cedentes obtenidas con la curva elasto plástica equivalente, se observó un ajuste confuso a la distribución normal.

CONCLUSIONES

- ✓ Al menos para los parámetros estudiados en este trabajo, se observó que las combinaciones de cargas consideradas para el análisis de *push over* no influyeron en el comportamiento sismorresistente de los pórticos analizados en esta investigación.
- ✓ La secuencia de las rótulas plásticas para cada pórtico no se vio afectado por la variabilidad de los valores de la resistencia a compresión del concreto y del esfuerzo cedente del acero.

RECOMENDACIONES

- ✓ Debido al efecto observado en secciones de vigas y columnas y en los pórticos analizados en este trabajo, se recomienda tomar medidas para controlar la variabilidad que presenta la resistencia a compresión del concreto y el esfuerzo cedente del acero.
- ✓ Se recomienda la inclusión de análisis probabilísticos en el diseño de edificaciones importantes, como las consideradas en el Grupo A de COVENIN 1756 (2001).
- ✓ Se recomienda el uso del análisis probabilístico para evaluar el comportamiento sismorresistente de estructuras existentes.
- ✓ Un uso importante del método de Montecarlo es la evaluación de la probabilidad de falla de un sistema estructural, para lo que se recomienda la automatización de todo el proceso de análisis con el fin de obtener las simulaciones necesarias que validen dicho estudio.
- ✓ Se recomienda utilizar modelos que consideren la posibilidad de falla (o rótulas) por corte u otros mecanismos frágiles (adherencia, solapes, torsión, etc.)



AGRADECIMIENTOS



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL COMPORTAMIENTO SISMORRESISTENTE DE ESTRUCTURAS APORTICADAS DE CONCRETO REFORZADO

Tutor Académico:
Prof. Angelo Marinilli

Trabajo Especial de Grado presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br.:
Juan José Bruzual Andarcia